Załącznik 2

Autoreferat

Spis treści

1.	Imię i nazwisko	2
2.	Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4.	Wskazanie osiągnięcia, wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)	4
4.1	Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2	Wykaz publikacji naukowych stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego	4
4.3	Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	11
5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	50

1. Imię i Nazwisko

Anna Szafarczyk

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Informację na temat posiadanych dyplomów i uzyskanych stopni zestawiono w tabeli 1. Tab. 1 Posiadane dyplomy, tytuły zawodowe oraz stopnie naukowe.

Tytuł/stopień	Data uzyskania	Informacje szczegółowe
doktor 19.06.2008 Akademia Górniczo-		Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława
		Staszica w Krakowie,
		Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
		Dziedzina: Nauki Techniczne
		Dyscyplina: Geodezja i Kartografia
		Specjalność: Geodezja Górnicza
		Rozprawa doktorska na temat:
		Wyznaczenie odkształceń poziomych terenu
		górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych
		Promotor:
		prof. dr hab. inż. Jan Pielok
		<u>Recenzenci:</u>
		prof. dr hab. inż. Anton Sroka (Technische
		Universität Bergakademie Freiberg, Niemcy)
		dr hab. inż. Edward Preweda
		(Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie)
magister inżynier	10.07.2002	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława
		Staszica w Krakowie
		Wydział Geodezji Gorniczej i Inzynierii Srodowiska
		Specialpećć: Coodozia Córpicza
		specjanosc. Geodezja Gornicza
		Praca magisterska na temat:
		Badania testowe giroteodolitu Gyromat 2000
		Współautor:
		Marek Szafarczyk
		Promotor:
		prof. dr hab. inż. Jan Pielok

Dodatkowo, w roku 2002 ukończyłam z wynikiem celującym dwuletnie Studium Przygotowania Pedagogicznego, spełniając warunki określone Rozporządzeniem Ministra Edukacji Narodowej z dnia 10 października 1991 r., odnośnie kwalifikacji wymaganych od nauczycieli (Dz. U. Nr 98, poz. 433).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Informacje na temat zatrudnienia w jednostkach naukowych przedstawiono w tabeli 2. *Tab. 2 Zatrudnienie w jednostkach naukowych.*

Okres		Nazwa instytucii	Stanowisko
od	do		Stanowisko
		Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej	
10.2012	obecnie	Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie	adiunkt
10.2009 09.2015		Instytut Inżynierii Technicznej Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Jarosławiu	starszy wykładowca
10.2008 10.2012		Katedra Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie	adiunkt

W latach 2008-2018 prowadziłam także zajęcia dydaktyczne na trzech innych (poza macierzystym) Wydziałach Akademii Górniczo-Hutniczej, to jest na Wydziałe Górnictwa i Geoinżynierii, Wydziałe Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Wydziałe Wiertnictwa, Nafty i Gazu oraz w Zamiejscowych Ośrodkach Dydaktycznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Nowym Sączu, Jastrzębiu Zdroju oraz Jaworznie.

W latach 2007-2008 prowadziłam również zlecone zajęcia dydaktyczne (umowa o dzieło) w Instytucie Geografii Akademii Pedagogicznej im. KEN w Krakowie.

Dodatkowo w latach 2000-2002 pracowałam (umowa o dzieło) dla przedsiębiorstwa budowlano-geodezyjnego i inwestycyjnego "Rel-Bud" Sp. z o.o., wykonując prace w zakresie geodezyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, realizacyjnych i inwestycyjnych, pomiarów deformacji, sporządzania dokumentacji dla celów prawnych. W roku 2009 pracowałam (umowa o dzieło) dla Przedsiębiorstwa Miernictwa Górniczego w Katowicach, wykonując prace w zakresie aktualizacji ewidencji gruntów i budynków gminy Miedźna (powiat pszczyński).

4. Wskazanie osiągnięcia, wynikającego z art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem, określonym zgodnie z obowiązującą Ustawą z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (art. 16 ust. 2), jest cykl publikacji powiązanych tematycznie pod tytułem: "Kinematyka i stan odkształceń powierzchni osuwisk o genezie naturalnej oraz wywołanych prowadzoną eksploatacją odkrywkową".

Oznaczenie	Publikacja	Udział	Liczba punktów (zgodnie z punktacją MNiSW obowiązującą w roku wydania publikacji)
[C1]	Szafarczyk A . 2012: Możliwości wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej w monitoringu osuwisk. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, vol. 2/II, s. 29-38.		5
[C2]	Szafarczyk A., Rybicki S., Woźniak H., Lenda G., Kaczmarczyk R., Ligas M., Krokoszyński P., Gawałkiewicz R., Tchórzewska S., Szymanowski R., 2013: Badania kinematyki powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem naziemnej interferometrii radarowej — pod red. nauk. Anny Szafarczyk i Stanisława Rybickiego. Wydawnictwa AGH, Kraków. <u>Recenzenci wydawniczy:</u> prof. dr hab. inż. Jan Pielok (AGH w Krakowie) dr inż. Zbigniew Perski (PIG)	30%	24
	Merytoryczny udział wnioskodawcy: kierowanie projektem naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy, koncepcja publikacji, studia literaturowe, opracowanie koncepcji monitoringu geodezyjnego badanych osuwisk, projekt i stabilizacja punktów na osuwisku w Milówce, wykonanie wszystkich pomiarów technologią naziemnej interferometrii radarowej, analiza wyników wykonanych pomiarów, wykonanie testów radaru, określenie dokładności przyrządu w warunkach polowych, sformułowanie zasad dotyczących jego stosowania, opracowanie tekstowe całości rozdziałów: 4, 4.1, 5, 6.1, 6.4, 6.6, 6.7, 7.1, 7.5, 7.7, 9, oraz opracowanie rozdziałów 6.5, 7.6, 8, 10.1, 10.2 w zakresie dotyczącym wykonanych pomiarów geodezyjnych.		

4.2 Wykaz publikacji naukowych stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego

Maciaszek J., Gawałkiewicz R., Szafarczyk A., 2015: Geodezyjne metody badania osuwisk. Wydawnictwa AGH, Kraków.[C3]Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Józef Beluch (AGH w Krakowie) dr hab. inż. Ryszard Mielimąka, prof. PŚ (Politechnika Śląska)			20
	Merytoryczny udział wnioskodawcy: studia literaturo projektowania i prowadzenia pomiarów łącznie z projel monitoringu osuwisk, prowadzonego z wykorzystani (punktowych) obejmujących sieć punktów rozproszon oraz regularnych linii zastabilizowanych w formie ró względem siebie ciągów (osuwisko w Milówce-Kolon obszarowych obejmujących naziemną fotogrametrie radarową, metodę kombinowaną GPS i InSAR oraz radarową, opracowanie i redakcja przykładó z wykorzystaniem klasycznych metod geodezyjnych (Milówce-Kolonii Prusów) oraz monitoringu z wykorzysta interferometrii radarowej, opracowanie przykładów w osuwisk w zakresie otworów badawczych (osuwisko metody georadarowej, metody elektrooporowej, zas i inklinometrów, opis skutków występowania osuwisk.	we, oprac ktem sieci em techno ych (osuw wnoległycł ii Prusów), c cyfrową c naziemn w monił osuwiska aniem tech głębnych Milówka tosowania	owanie metodyki obserwacyjnej dla ologii klasycznych isko w Konarach) n i prostopadłych oraz technologii , interferometrię a interferometrię toringu osuwisk w Konarach oraz inologii naziemnej metod obserwacji Kolonia Prusów), ekstensometrów
[C4]	Szafarczyk A., Gawałkiewicz R. 2016: Case study of the tensor analysis of ground deformations evaluated from geodetic measurements in a landslide area. Acta Geodynamica et Geomaterialia. vol. 13 no. 2, s. 213-222. DOI: 10.13168/AGG.2016.0003	80%	20
	Merytoryczny udział wnioskodawcy: koncepcja publikac pozyskanie i przetworzenie danych pomiarowych (punktów pomiarowych zastabilizowanych według wła siatki rozet trójkątnych), przeprowadzenie obliczeń wyznaczenie składowych tensora odkształcenia d z kierunkami występowania odkształceń ekstremalny sformułowanie wniosków, opracowanie tekstowe całośc	ji, opracow zestawieni snego pro i analiz j a wszyst ch, interp i artykułu.	vanie metodologii, e współrzędnych jektu, utworzenie pozwalających na kich rozet wraz retacja wyników,
[C5]	Szafarczyk A. 2017: Using corner reflectors as ground control points in ground based SAR interferometry. SGEM 2017 conference proceedings, vol. 17 iss. 22, Geodesy and mine surveying, s. 749-756. DOI: 10.5593/sgem2017/22/S09.095	100%	5

[C6]	Szafarczyk A. 2017: The review of observer-controlled factors ensuring the quality of radarometric images taken in GBInSAR technology and the methods of their verification. Geoinformatica Polonica; vol. 16, s. 139-148. DOI: 10.4467/21995923GP.17.008.7742	100%	6
[C7]	Szafarczyk A. 2018: Geodetic monitoring as an element of the obligatory landslide registery in Poland on the example of chosen active landslide.SGEM 2018 conference proceedings, vol. 18, Geoinformatics, geodesy and mine surveying. Iss. 2.2, s. 797-804.https://doi.org/10.5593/sgem2018/2.2	100%	5
[C8]	 Szafarczyk A. 2019: Stages of geological documentation on the example of landslides located on the slopes of the dam reservoir "Świnna Poręba" (Poland). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science ; ISSN 1755-1307. 2019, vol. 221 art. no. 012037, s. 1-8. 	100%	Punktacja nieokreślona (rok 2019)
	Suma	85	

Zakres publikacji

[C1] Anna Szafarczyk, 2012: Możliwości wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej w monitoringu osuwisk. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, vol. 2/II, s. 29-38.

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania technologii naziemnej interferometrii radarowej do monitoringu osuwiska położonego w Milówce (województwo Śląskie). Skrótowo przedstawiono przyczyny powstawania osuwisk oraz elementy rzeźby osuwiska. Odniesiono się do dotychczas stosowanych geodezyjnych technologii monitoringu osuwisk oraz przedstawiono charakterystykę zastosowanej technologii pomiarowej. Naziemna interferometria radarowa pozwala wyznaczać przemieszczenia z niespotykaną dotąd dokładnością, w czasie rzeczywistym i bez potrzeby wstępu na monitorowany obiekt. Możliwości zastosowania naziemnej interferometrii radarowej przetestowano, wykonując kilkanaście serii pomiarowych w ciągu dwóch dób. Na przykładzie pomiarów przemieszczeń wykonanych przez habilitantkę można stwierdzić, iż wykorzystanie naziemnej interferometrii radarowej pozwala na wyznaczenie wartości przemieszczenia z dokładnością milimetrową, przy jednoczesnym skróceniu czasu pomiaru, ograniczeniu składu wykwalifikowanego zespołu pomiarowego do jednej osoby i natychmiastowym uzyskaniu wartości występujących przemieszczeń. Pozyskiwanie i analiza danych w czasie rzeczywistym stwarza potencjalne możliwości ostrzegania o utracie stateczności gruntu, co ma niewątpliwe

znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańców i ich domostw znajdujących się na terenach osuwiskowych.

[C2] Anna Szafarczyk, Stanisław Rybicki, Henryk Woźniak, Grzegorz Lenda, Robert Kaczmarczyk, Marcin Ligas, Piotr Krokoszyński, Rafał Gawałkiewicz, Sylwia Tchórzewska, Rafał Szymanowski 2013: Badania kinematyki powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem naziemnej interferometrii radarowej — pod red. nauk. Anny Szafarczyk i Stanisława Rybickiego. Wydawnictwa AGH, Kraków.

W monografii stanowiącej efekt prac realizowanych w ramach projektu badawczego NCN pod kierownictwem habilitantki, przedstawiono wyniki z wykorzystania i zaadaptowana do lokalnych warunków metody monitoringu powierzchniowych ruchów masowych, wykorzystującej technologię naziemnej interferometrii radarowej. Wykorzystanie tej metody, uzupełnionej klasycznymi pomiarami geodezyjnymi oraz wynikami badań i analiz o charakterze geologiczno-inżynierskim, pozwoliło na rozpoznanie kinematyki ruchów masowych dla danego rejonu przy lokalnie występujących warunkach geologicznych, hydrologicznych i wytrzymałościowych podłoża budującego stok. Badania ukierunkowane były na wykonanie pomiarów geodezyjnych i ich analizę oraz na wykonanie badań geologiczno-inżynierskich i interpretację zjawiska. W fazie pierwszej przetestowany został w warunkach środowiskowych radar interferometryczny, czego rezultatem było określenie roboczej dokładności przyrządu i ewentualnego wpływu czynników zewnętrznych na wyniki pomiaru. Zespół geologiczno-inżynierski koordynował prace związane z wykonaniem przedmiotowym Struktura odwiertów na osuwisku. litologiczna badana była z zastosowaniem metody georadarowej. W ramach drugiej, zasadniczej części pracy, przedstawiono wyniki zrealizowanych sześciu geodezyjnych serii obserwacyjnych (w zakresie pomiarów klasycznych), uzupełnionych dodatkowymi pomiarami z wykorzystaniem radaru interferometrycznego. Pomiary te wykonane były w dwóch rejonach obejmujących osuwisko naturalne i powstałe na skutek górniczej działalności człowieka. Wyniki pomiarów uzyskane z wykorzystaniem dotychczas niestosowanej w Polsce metody zostały skonfrontowane w analizie porównawczej z wynikami dyskretnych obserwacji wykonanych przy zastosowaniu technologii GPS uzupełnianej precyzyjnym pomiarem kątowo-liniowym. Na podstawie doświadczeń zgromadzonych podczas przeprowadzonych badań opracowane zostały szczegółowe wytyczne w zakresie stosowania technologii naziemnej interferometrii radarowej do monitoringu powierzchniowych ruchów masowych występujących na terenach górniczych. Wytyczne te obejmowały planowanie miejsc stabilizacji baz pomiarowych i czasokresów wykonywania pomiarów oraz sposób wykonywania pomiarów i opracowania ich wyników, co wpisuje się swą tematyką w obecnie prowadzone badania w ramach projektu SOPO (System Osłony Przeciwosuwiskowej), zleconego przez Ministra Środowiska. Zaproponowanie zastosowania nowoczesnej, unikatowej technologii monitoringu przemieszczeń jest realizacją palącego problemu zarządzania ryzykiem osuwiskowym i w znacznym stopniu przyczyni się do rozpoznania kinematyki procesu deformacji w rejonach zagrożonych występowaniem ruchów masowych.

[C3] Jadwiga Maciaszek, Rafał Gawałkiewicz, Anna Szafarczyk, 2015: Geodezyjne metody badania osuwisk. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Praca w sposób kompleksowy porusza problematykę zastosowania zintegrowanych technik geodezyjnych w badaniach ruchów masowych zboczy naturalnych i pochodzenia antropogenicznego, które zilustrowane zostały na podstawie kilku wybranych obszarów działalności autorów. Praca w sposób syntetyczny ujmuje dotychczasowy stan wiedzy na temat badania osuwisk, w kontekście zarówno prawnym, praktycznym (pomiary w zakresie monitoringu, analiza wyników deformacji), jak i profilaktyki zabezpieczenia skarp. Autorzy zamieścili w monografii wyniki wieloletnich geodezyjnych badań obszarów osuwiskowych.

[C4] Anna Szafarczyk, Rafał Gawałkiewicz, 2016: Case study of the tensor analysis of ground deformations evaluated from geodetic measurements in a landslide area. Acta Geodynamica et Geomaterialia, vol. 13 no. 2, s. 213-222.

W artykule habilitantka przedstawiła sposób określenia stanu deformacji powierzchni osuwiska, dokonując podziału jego powierzchni na siatkę trójkątów, o wierzchołkach zlokalizowanych w miejscach zastabilizowanych punktów pomiarowych. Wykorzystując rachunek tensorowy, wyznaczone zostały składowe tensora odkształcenia dla każdej z rozet z osobna, co zostało zilustrowane graficznie i pozwoliło na sformułowanie wniosków dotyczących istniejącego (chwilowego) stanu odkształcenia dla osuwiska będącego w fazie wygasania (osuwisko w Milówce), jak również osuwiska aktywnego (osuwisko 24S w kopalni Bełchatów). Wyznaczenie stanu odkształcenia pozwala na uzupełnienie oceny procesu deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu poprzez wskazanie stref jednoimiennych odkształceń i ich ewentualnego powiązania przyczynowo-skutkowego z uszkodzeniami obiektów zlokalizowanych na badanych osuwiskach.

[C5] Anna Szafarczyk, 2017: Using corner reflectors as ground control points in ground based SAR interferometry. SGEM 2017 conference proceedings, vol. 17 iss. 22, Geodesy and mine surveying, s. 749-756.

Zmiana warunków atmosferycznych pomiędzy dwoma pomiarami wykonanymi z wykorzystaniem technologii naziemnej interferometrii radarowej ma wpływ na uzyskiwane wartości przemieszczeń. W celu wyeliminowania tego wpływu stosuje się korekty atmosferyczne w oparciu o punkty kontrolne w formie reflektorów rogowych. Reflektory takie dają silne odbicie fal emitowanych przez radar i są dobrze widoczne na interferogramie. W omawianym przykładzie przedstawiono wyniki pomiarów przemieszczeń niestabilnego zbocza. W jego górnej części, na terenie uznawanym za stabilny, zamontowano trzy naziemne punkty kontrolne (GCP), a z przeciwstoku wykonywano pomiary z wykorzystaniem naziemnego interferometru radarowego, pozyskując łącznie

36 radarogramów. W postprocessingu wygenerowano interferogramy z uwzględnieniem jednego, dwóch lub trzech punktów kontrolnych, a dla wybranych pikseli terenowych zestawiono wartości uzyskanych przemieszczeń, co stanowiło podstawę oceny wpływu czynników atmosferycznych na wyniki pomiaru.

[C6] Anna Szafarczyk, 2017: The review of observer-controlled factors ensuring the quality of radarometric images taken in GBInSAR technology and the methods of their verification. Geoinformatica Polonica, vol. 16, s. 139–148.

W naziemnej technologii InSAR prawidłowe ustalenie warunków pomiaru jest czynnikiem fundamentalnym. Obserwator decyduje o lokalizacji radaru zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej, a także pionowym kącie pochylenia wiązki emitowanej przez radar oraz formie stanowiska pomiarowego, które należy samodzielnie wykonać lub zaadaptować. W zależności od prawidłowości i optymalizacji procedur pomiarowych podjętych przez obserwatora, wyniki pomiaru mogą być obarczone większymi lub mniejszymi błędami. W artykule przedstawiono czynniki zależne od obserwatora, ich wpływ na dokładność pomiaru wraz z jego analizą dokładności oraz opracowanymi przez autora poprawkami geometrycznymi wartości przemieszczeń. Omówiono także wpływ wyboru pozycji (dystansu) radaru na rozdzielczość uzyskiwanego radarogramu. Przeanalizowano wpływ zastosowanych anten oraz długości celowej na dokładność pomiaru oraz określono potencjalne pole powierzchni możliwe do pomiaru z jednego stanowiska radaru. Ze względu na fakt uzyskiwania wartości przemieszczeń na kierunku emisji fali, przedstawiono wzory pozwalające na zredukowanie uzyskanych wartości do wartości przemieszczeń poziomych, które wyprowadzono w oparciu o wszystkie możliwe konfiguracje radaru względem monitorowanej powierzchni. W celu uzyskiwania koherentnych obrazów konieczne jest zapewnienie stabilnego stanowiska. Wobec tego przedstawiono procedure pomiarowa i obliczeniową takiej kontroli. Zastosowanie się do wniosków przedstawionych w artykule pozwoli na uzyskanie zobrazowania radarometrycznego o najwyższej możliwej dokładności.

[C7] Anna Szafarczyk, 2018: Geodetic monitoring as an element of the obligatory landslide registery in Poland on the example of chosen active landslide. SGEM 2018 conference proceedings, vol. 18, Geoinformatics, geodesy and mine surveying, iss. 2.2, s. 797-804.

W Polsce prowadzenie rejestru obszarów zagrożonych ruchami masowymi i monitorowanie osuwisk jest obowiązkiem starosty, wynikającym z przepisów Ustawy Prawo ochrony środowiska oraz Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie informacji dotyczących ruchów ziemi. Zgodnie z ustawą starosta zobowiązany jest do obserwowania terenów zagrożonych ruchami mas ziemnych i obszarów, na których te ruchy występują. Zgodnie z rozporządzeniem "w przypadku obszarów zagrożonych ruchami masowymi i obszarami, w których nastąpiły te ruchy, przeprowadzane jest monitorowanie polegające na pomiarach ruchu powierzchniowego mas ziemnych w celu określenia prędkości i charakteru tego ruchu za pomocą w szczególności metod geodezyjnych". W wypełnianiu tego obowiązku starosta powiatu krakowskiego (województwo małopolskie, Polska) monitoruje osuwiska, które stanowią potencjalne zagrożenie dla budynków lub infrastruktury. W artykule przedstawiono przykładową dokumentację dotyczącą wybranych aktywnych osuwisk, a także wyniki monitoringu geodezyjnego. Według habilitantki, monitoring geodezyjny prowadzony zgodnie z zapisami ustawy i przekazywanie informacji ilościowych w postaci określonych wartości liczbowych występujących odkształceń powinien być ważniejszy w kompleksowej ocenie bezpieczeństwa budynków jako podstawy działań specjalistów dziedzinie budownictwa i planowania przestrzennego. Wyniki takiego monitoringu powinny być sukcesywnie wprowadzane do bazy danych osuwisk i stanowić podstawę do formułowania krytycznych wartości deformacji wskazujących na przydatność danych obszarów do wybudowania.

[C8] Anna Szafarczyk, 2018: Stages of geological documentation on the example of landslides located on the slopes of the dam reservoir "Świnna Poręba" (Poland). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science ; ISSN 1755-1307. 2019, vol. 221 art. no. 012037, s. 1-8.

W polskiej części Karpat funkcjonuje 14 zbiorników retencyjnych gromadzących około 1200 mln m3 wody. Jedną z najnowszych większych budowli hydrotechnicznych jest zbiornik Świnna Poręba o pojemności 160 mln m3, wybudowany na rzece Skawie. Zbiornik posiada bardzo urozmaiconą linię brzegową, w obrębie której znajduje się wiele rejonów osuwiskowych (w tym rejon osuwiskowy Ostałowa). Z historii obiektów hydrotechnicznych znane są katastrofy zapór wodnych, których powodem było niewystarczające rozpoznanie budowy geologicznej czaszy zbiornika. Dokumentowanie obszarów osuwiskowych w takich rejonach jest więc zagadnieniem o wielkim znaczeniu dla zapewnienia bezpieczeństwa nie tylko samego obiektu hydrotechnicznego, lecz także ludzi zamieszkujących teren zalewu.

Na poszczególnych etapach dokumentowania obszarów osuwiskowych istotne jest: rozpoznanie mechanizmu uruchamiającego osuwisko, ocena możliwości zabezpieczenia zbocza lub skarpy, wskazanie optymalnego sposobu stabilizacji osuwiska, określenie parametrów geotechnicznych niezbędnych do opracowania projektu zabezpieczenia osuwiska i jego monitoring. W artykule na tle przepisów prawnych obowiązujących w Polsce przedstawiono kluczowe elementy dokumentacji prowadzonej na potrzeby zabezpieczenia rejonu osuwiskowego Ostałowa. Scharakteryzowano zawartość kart dokumentacyjnych osuwiska, zakres projektu prac geologicznych i zakres dokumentacji geologiczno-inżynierskiej na potrzeby projektu zabezpieczenia osuwiska. Przedstawiono kluczowe elementy projektu geotechnicznego, w tym obliczenia stabilności stoku, i przedstawiono projektowane zabezpieczenia.

Monitoring geodezyjny obszaru Ostałowa stanowiący kontynuację prac geologicznych prowadzony jest na sieci szesnastu reperów kontrolowanych w nawiązaniu do czterech reperów sieci odniesienia. Monitoring ten powinien być kontynuowany również po zrealizowaniu zabezpieczenia osuwiska, gdyż jest podstawowym wymiernym sposobem stwierdzenia przemieszczeń gruntu. Wyniki pomiarów wskazujące na przemieszczenia gruntu są podstawą do ewentualnego przedsięwzięcia działań zapobiegawczych.

4.3 Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Cel naukowy

Według Ustawy z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej, osuwiska ziemi zaliczane są do katastrof naturalnych, a jeśli ich skutki zagrażają życiu lub zdrowiu dużej liczby osób, mieniu w wielkich rozmiarach albo środowisku na znacznych obszarach – to klasyfikowane są jako klęska żywiołowa. Celem naukowym przeprowadzonych badań było dokonanie oceny kinematyki wybranych osuwisk i wypracowanie empirycznie określonych kryteriów ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym, w tym tak zwanej krytycznej wartości deformacji, na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych, skonfrontowanych z rozpoznaniem geologiczno-inżynierskim rejonów badań. Dysponując w momencie rozpoczęcia badań jedynym w Polsce egzemplarzem radaru interferometrycznego IBIS-L, zrealizowano zadanie polegające na przetestowaniu, wyznaczeniu dokładności i wdrożeniu całkowicie nowatorskiej w Polsce technologii monitoringu powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem zdalnej i bezdotykowej metody, o niespotykanej dotąd dokładności wyznaczania przemieszczeń (według deklaracji producenta rzędu 0,1 mm i wyższej) i dającej informację o wartości przemieszczenia wszystkich punktów terenu objętych zasięgiem działania anteny radaru bez potrzeby zakładania osnowy geodezyjnej. Długotrwałym monitoringiem objęto jedno osuwisko naturalne znajdujące się na terenie Karpat fliszowych (Milówka) oraz oceniono stateczność zboczy powstałych na skutek górniczej działalności człowieka (KWB Bełchatów). Ze względu na ograniczenie metody interferometrii radarowej do wyznaczania wartości przemieszczenia, pomiary uzupełniono o wykorzystanie innych technik geodezyjnych (GNSS i precyzyjne pomiary kątowo-liniowe). Uzyskane wyniki pozwoliły na utworzenie kompleksowego systemu pomiarowego umożliwiającego precyzyjny monitoring powierzchniowych ruchów masowych z zastosowaniem naziemnej interferometrii radarowej.

Wykorzystanie seryjnie wyznaczonych wartości współrzędnych zastabilizowanych na osuwiskach punktów, miało na celu wyznaczenie kierunków przemieszczeń i **określenie wartości odkształceń poziomych terenu z wykorzystaniem analizy składowych powierzchniowego tensora odkształcenia**. Dzięki temu określony został rozkład (w szczególności strefy występowania jednoimiennych odkształceń) dla asymptotycznego stanu deformacji (po ustabilizowaniu się stoku) oraz w aktywnej fazie trwania powierzchniowych ruchów masowych.

Z zastosowaniem szerokiego spektrum powszechnych, geodezyjnych metod pomiarowych (RTN, GNSS, precyzyjne pomiary kątowo-liniowe, niwelacja geometryczna) prowadzono monitoring geodezyjny aktywnych osuwisk zlokalizowanych na terenie powiatu krakowskiego, czego celem naukowym była ocena geometrii stoku oraz obiektów budowlanych usytuowanych w obrębie aktywnej części osuwiska. Badania prowadzono w szczególności w celu określenia korelacji pomiędzy wartością kąta zmiany nachylenia stoku, a wartością wychylenia obiektu zlokalizowanego na aktywnej części osuwiska oraz określenia korelacji pomiędzy wartością kąta nachylenia antropogenicznie ukształtowanego

stoku dla asymptotycznego stanu deformacji (po ustabilizowaniu się stoku) oraz stanu sprzed ingerencji człowieka w morfologię terenu.

Celem badań zrealizowanych na osuwisku Ostałowa było **dokonanie oceny kinematyki zjawiska osuwania się gruntu w inicjalnej fazie procesu**. Możliwość prowadzenia badań w fazie inicjalnej jest bardzo rzadka i wynika z wciąż niewystarczającego stanu wiedzy w zakresie prognozowania występowania zjawisk ruchów masowych.

Znaczenie badań

Pierwsza rejestracja naturalnych osuwisk, przeprowadzona na terenie Polski w końcu lat 60. XX wieku, wykazała istnienie na stokach karpackich ponad 3000 osuwisk, których liczba wzrosła do 20000 w miarę prowadzenia dalszych prac rozpoznawczych (Bober, 1984; Poprawa et al., 2003). Obecnie, zgodnie z informacjami Państwowego Instytutu Geologicznego, gromadzonymi w ramach projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO), szacuje się, że na terenie Polski znajduje się około 50000 osuwisk (Graniczny, 2003). W ciągu ostatnich kilkunastu lat, po obfitych opadach bądź wiosennych roztopach, konsekwentnie odnawiają się ruchy osuwiskowe, niszcząc budynki mieszkalne i zabudowania gospodarcze, niejednokrotnie stwarzając przy tym zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi (Rys.1) (Rybicki et al., 2006).



Rys. 1. Skutki występowania osuwisk w Karpatach (fot. A. Szafarczyk).

Zagrożenia ruchami osuwiskowymi na terenach górniczych są równie poważne i niebezpieczne. Eksploatacja w kopalni odkrywkowej, prowadzona bez ciągłego monitoringu procesów deformacji skarp, mogłaby spowodować zagrożenie dla życia załogi, a zakład górniczy narazić na finansowe straty związane ze zniszczeniem sprzętu i wstrzymaniem wydobycia (Bartłomiejczyk et al., 2005). Za przykład mogą tu posłużyć wielkie osuwiska w odkrywkowej Kopalni Węgla Brunatnego "Bełchatów" (Rys. 2 i 3), które narażają kopalnię na różnego rodzaju zagrożenia i straty złoża, sięgające dziesiątków milionów złotych.



Rys. 2. Widok ogólny z półki -5 m n.p.m. na rejon czoła osuwiska 22S w Bełchatowie (fot. S. Rybicki).



Rys. 3. Widok ogólny z półki +80 m n.p.m. na rejon osuwiska 22S w Bełchatowie (fot. S. Rybicki).

Jest więc konieczne monitorowanie deformacji skarp i zboczy kopalni w wytypowanych na podstawie budowy geologicznej rejonach, w celu ostrzegania przed deformacjami katastrofalnymi (osuwiskami). Pozwala to w porę wycofać maszyny górnicze i załogę z rejonów zagrożonych.

Istniejący stan wiedzy w zakresie tematu badań

Procesy osuwiskowe charakteryzują się długotrwałym przebiegiem i obejmują zazwyczaj kilka stadiów rozwoju (Rys. 4), które zachodzą kolejno z różnym nasileniem i częstotliwością, w zależności od zmiennych warunków geologicznych i geomorfologicznych oraz od intensywności działania czynników wpływających na uruchomienie mas skalnych (Rybicki et al., 2000).

Znajomość przebiegu poszczególnych stadiów procesu osuwiskowego pozwala na dokładniejszą ocenę kierunku dalszego rozwoju danej formy i jest niezbędna przy właściwym ustalaniu geologiczno-inżynierskich prognoz stateczności stoków (Krokoszyński et al., 2005). Ze względu na rangę problemu występowania osuwisk, w ostatnich kilkunastu latach podjęto różnego rodzaju badania dotyczące ich rozpoznawania, rejestracji i monitoringu (red. Pilecki, 2008). Wykonano kosztowne badania geologiczne i geotechniczne, zabezpieczono wytypowane rejony przed skutkami uaktywniających się zboczy osuwiskowych i analizowano możliwości wykorzystania nowoczesnych technologii pomiarowych w walce z osuwiskami (Rybicki et al., 2006). Na zlecenie Ministra Środowiska powstał program SOPO (System Osłony Przeciwosuwiskowej), który jest projektem o znaczeniu ogólnopaństwowym, a jego podstawowym celem jest rozpoznanie, udokumentowanie i zaznaczenie na mapie w skali 1:10000 wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce oraz założenie systemu monitoringu wgłębnego i powierzchniowego na 100 wybranych osuwiskach (Wolski, 2001). Cały projekt ma za zadanie wspomaganie władz lokalnych w wypełnianiu obowiązków dotyczących problematyki ruchów masowych wynikających z odpowiednich ustaw (Ustawa 2001, Ustawa 2002) i rozporządzeń (Rozporządzenie 2007).



Rys. 4. Schemat faz ruchu osuwiskowego i zmian współczynnika stateczności skarpy (Szafarczyk et al., 2013).

Idea wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej (GBInSAR) w monitoringu stabilności zboczy naturalnych i górniczych została zaczerpnięta z technologii satelitarnej interferometrii radarowej. Od lat 90. ubiegłego wieku wraz z wprowadzeniem systemów ERS-1, JERS-1, RADARSAT-1 i ERS-2 radary z syntetyczna aperturą (SAR), bazujące na tych satelitarnych systemach, wykorzystywały informację o fazie zawartej w obrazach radarowych do wykrywania przemieszczeń gruntu (Borgeaud et al., 1994; Srivastava et al., 1996).

W roku 2000 włoscy autorzy (Pieraccini et al., 2000a, b; Tarchi et al., 2000) ustanowili zasady naziemnej interferometrii radarowej i określili możliwości jej wykorzystania do monitorowania budynków i tworzenia map. W roku 2003 po raz pierwszy technologia została zaprezentowana w terenie w celu zdalnego wykrywania ruchów zbocza (Tarchi et al., 2003; Pieraccini et al., 2003) (Rys.5).



Rys. 5. Mapa przemieszczeń terenu wyznaczonych radarem interferometrycznym IBIS-L (Tarchi et al. 2003).

Wykorzystywane wtedy systemy GBInSAR były prototypowe i stanowiły podstawę do zaprojektowania urządzenia możliwego do szerszego wykorzystania i wprowadzenia na rynek (w 2007 roku) przez firmę IDS. Obecnie na rynku dostępne są dwa radary z syntetyczną aperturą, wykorzystywane do monitoringu zboczy naturalnych i antropogenicznych: IBIS (Bozzano et al., 2011; Farina et al., 2011, 2013) firmy IDS oraz LisaLab (Antonello et al., 2008) firmy Ellegi.

Radar IBIS (występujący w dwóch wersjach: S oraz L) (Rys. 6) jest precyzyjnym, pomiarowym badawczym, urządzeniem służącym mikrofalowym, do zdalnego bezdotykowego pomiaru przemieszczeń i deformacji obiektów inżynierskich oraz powierzchni terenu, Ζ nieosiągalną w dotychczasowej praktyce dokładnością i częstotliwością. Podstawą urządzenia jest pracujący w dozwolonym na terenie UE paśmie KU (17.1-17.3 GHz, fala z pasma 17.2-17.4mm) radar, wykorzystujący stosowaną dotychczas wyłącznie w pomiarach satelitarnych metodę syntetycznej apertury (In-SAR) (IBIS-L User Manual, 2008).



Rys. 6. Naziemny radar interferometryczny a) IBIS S (fot. L.D. Olson) b) (IBIS L) podczas monitoringu osuwiska w Bełchatowie (fot. A. Szafarczyk).

Radar emituje w kierunku badanego obiektu spójną, skanującą wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o bardzo małej mocy i skokowo zmiennej częstotliwości i kierunku, a następnie odbiera, rejestruje i analizuje odbity sygnał. Wbudowany układ interferometryczny wykonuje precyzyjny pomiar zmian fazy sygnału odbitego względem sygnału nadawanego, pozwalając na pomiar przemieszczeń wybranych punktów lub obszarów badanego obiektu (pikseli) z rozdzielczością nawet 0.01 mm i częstotliwością 200 Hz, przy czym badany obiekt może znajdować się w odległości 0.01÷4.0 km od instrumentu, a rozróżnialność pikseli jest osiągana przy zmianie odległości o 0.5÷0.75 m i azymutu o 4.5 mrad.

Według informacji producenta (IDS, 2008), jednym z podstawowych kierunków zastosowań radaru interferometrycznego IBIS-L jest detekcja, monitoring i predykcja niestabilności różnego rodzaju skarp, obwałowań osadników oraz deformacji terenu i budowli na obszarach eksploatacji górniczej. Jak poświadcza dostępna literatura (Abellan et al., 2009; Barla et al., 2012; Lingua et al., 2008; Monserrat et al., 2008), wykorzystanie naziemnego radaru interferometrycznego w pomiarach stateczności zboczy naturalnych i sztucznie ukształtowanych przez człowieka, daje wyniki jakościowo i ilościowo lepsze od dotychczas stosowanych metod obserwacyjnych (wyższa niż spotykana dotąd dokładność pomiaru przemieszczeń, możliwość praktycznie ciągłego monitoringu i uniezależnienie się od osnowy geodezyjnej).

Przedstawiona problematyka skłoniła habilitantkę do podjęcia zagadnienia poprawy bezpieczeństwa rejonów osuwiskowych poprzez wzbogacenie aktualnie stosowanych technik monitoringu o nowatorską, dotychczas nie stosowaną w Polsce metodę naziemnej interferometrii radarowej.

Osiągnięte wyniki wraz z omówieniem ich wykorzystania

Wśród technologii pomiaru przemieszczeń naturalnych skarp i zboczy kopalń odkrywkowych w realizacji niniejszych badań wykorzystano technologię klasycznych pomiarów kątowoliniowych, technologię GNSS oraz naziemną interferometrię radarową GBInSAR (Szafarczyk, 2013). Ze względu na fakt, iż technologia GBInSAR była zastosowana przez habilitantkę po raz pierwszy w Polsce, koniecznym etapem badań była analiza czynników zależnych i niezależnych od obserwatora, a mających wpływ na dokładność wyznaczanych przemieszczeń wraz z określeniem metod weryfikacji tych czynników (Szafarczyk, 2017), co ostatecznie służyło określeniu zasad wykorzystania technologii GBInSAR dla potrzeb monitoringu aktywnych osuwisk.

W technologii naziemnej interferometrii radarowej radar IBIS L instalowany jest na wytypowanym stanowisku w sposób, który jednoznacznie określa możliwość wykonania pomiaru w płaszczyźnie horyzontu. Oznacza to, że nie jest możliwy pomiar w dowolnym kierunku poziomym wychodzącym ze stanowiska pomiarowego, jak ma to miejsce w przypadku klasycznych przyrządów geodezyjnych. Radar stosowany w naziemnej interferometrii mikrofalowej wyposażony jest w dwie identyczne anteny. Każdą antenę cechują: charakterystyka promieniowania, polaryzacja fali, zysk energetyczny oraz impedancja (Volakis, 2007). Dobór odpowiedniej anteny do wykonania pomiaru zależny jest od jej charakterystyki promieniowania, która jest najważniejszym obok kąta połowy mocy,

kierunkowości i zysku energetycznego parametrem anteny. Pewien wycinek przestrzeni objętej zasięgiem działania radaru zdefiniowany jest przez dwa kąty zwane kątami połowy mocy, określane dla płaszczyzny wertykalnej i horyzontalnej. Kąty te zawarte są pomiędzy punktami wiązki głównej promieniowania zastosowanej anteny, dla których natężenie pola elektromagnetycznego spada do poziomu -3dB (0,707) względem wartości maksymalnej, stanowiącej punkt odniesienia. Im mniejszy jest kąt połowy mocy, tym bardziej skupiona na kierunku głównego promieniowania jest moc anteny, a tym samym zwiększa się jej kierunkowość. W badaniach realizowanych przez habilitantkę stosowane były dwa rodzaje anten. Przydatne w doborze odpowiedniej anteny mogą być zestawienia ich charakterystyki zilustrowane przykładami (Szafarczyk, 2017).

Radar w trakcie wykonywania pomiaru porusza się po aluminiowej szynie montowanej na stabilnym, betonowym fundamencie posadowionym poniżej poziomu przemarzania. Podczas opracowywania interferogramu zakłada się, że obydwa radarogramy wykonane są przyrządem, który nie zmienił swojego położenia między wykonanymi seriami pomiarowymi. Założenie to jest niezbędne dla uzyskania spójności dwóch radarogramów i tym samym gwarantem wygenerowania poprawnego interferogramu. W tym celu habilitantka stosowała (Szafarczyk, 2017) kontrolne pomiary niwelacyjne reperów zastabilizowanych na wybudowanych, w ramach prowadzonych badań, betonowych fundamentach wraz z procedurą sprawdzenia warunku bryły sztywnej (Janusz, 2005).

Rozdzielczość obrazu radarowego wykonanego w technologii naziemnej interferometrii radarowej jest opisana przez dwie wartości: rozdzielczość odległościową oraz rozdzielczość kątową. Rozdzielczość odległościowa na kierunku emisji fali jest stała i wynosi 0,5 metra (dla radaru IBIS L). Rozdzielczość na kierunku prostopadłym do kierunku emisji fali jest zagwarantowana przez użycie techniki radaru z syntetyczną aperturą (SAR). Dzięki możliwości poruszania się radaru wzdłuż dwumetrowej szyny zapewniona jest rozdzielczość kątowa rzędu 4,5 mrad (dla radaru IBIS L). Wraz ze wzrostem odległości od radaru następuje wzrost pola powierzchni terenu, który odpowiada jednemu pikselowi. Przykładowo piksel zobrazowania radarowego terenu znajdującego się w odległości 100 metrów od radaru będzie odpowiadał powierzchni 0,2 m², a piksel dla maksymalnej odległości 4 kilometrów obrazów radarowych sprawia, że możliwa jest detekcja zmian występujących na bardzo małych obszarach odpowiadających kilku pikselom obrazu, czyli powierzchni od kilku do kilkudziesięciu m² (Szafarczyk, 2017).

Dokładność pomiaru przemieszczeń wyznaczanych z wykorzystaniem technologii naziemnej interferometrii radarowej określana jest przez producenta i wynosi 0,1 mm. Jest ona odniesiona do pomiaru przemieszczeń w kierunku biegu fali (ang. line of sight, *los*), dla punktów o "dobrej refleksyjności" określonej wartością SNR>50 dB. Wartość signal to noise ratio (SNR), porównuje poziom mocy sygnału wyemitowanego przez antenę do poziomu mocy szumu i jest najczęściej wyrażana w decybelach (dB) dla każdego piksela. Wyższa wartość liczbowa oznacza lepszą specyfikację i wyższą dokładność pomiaru. W praktyce pomiarowej piksele obrazu pomiarowego wykonanego dla powierzchni zbocza kopalni odkrywkowej nie charakteryzują się wartością SNR większą od 50dB i z tego powodu dokładność pomiaru jest znacząco mniejsza (o jeden rząd wielkości) od wartości

zadeklarowanej przez producenta. W stosowanych przypadkach pomiarów skarp kopalni odkrywkowych, bez względu na ich odległość od radaru, przeciętna wartość SNR dla pikseli reprezentujących powierzchnię skarp wynosiła kilkanaście dB (Szafarczyk et al. 2013), a dokładność wyznaczanej wartości przemieszczenia mieściła się w granicach od 0,2 mm do 5,2 mm (Szafarczyk et al., 2013).

Skuteczna powierzchnia odbicia (ang. radar cross section, RCS) jest parametrem pokazującym zdolność obiektu do odbijania fal np. radarowych. Zależy od wielkości pola przekroju obiektu, materiału, z jakiego obiekt jest wykonany lub jakim został pokryty, oraz ukształtowania obiektu. Obiekty o większej powierzchni skutecznego odbicia lepiej odbijają fale, czyli dają silniejsze echo. Mogą być zatem wykryte z większej odległości. Wyznaczając współczynnik wstecznego rozpraszania σ0, określa się w sposób ilościowy właściwości odbiciowe i rozpraszające komponentów środowiska, umożliwiając również porównywanie ich między sobą (Mróz, 1998). W literaturze podane są zależności pozwalające na wyznaczenie wartości współczynnika σ0 (Hagberg i Ulander, 1995; Mróz, 1998; Baumgartner et al., 1999). W pracy (Szafarczyk et al., 2013), na obszarze objętym zasięgiem zastosowanych anten, habilitantka wytypowała obiekty o różnego rodzaju powierzchniach stanowiących odbicie dla fal radaru. Dla wytypowanych punktów wyznaczono na etapie wykonanych pomiarów wartość odbicia fali wyrażoną w dB i zestawiono w tabeli 3. Dla terenów i obiektów różnie zorientowanych względem fal emitowanych przez radar kalibracja wymaga posiadania informacji na temat ich wzajemnych relacji geometrycznych. Stąd też w tabeli 3 zestawiono również wartości odchyleń wiązki padającej na monitorowaną powierzchnie od kierunku normalnego do tej powierzchni. Na podstawie wyznaczonych przez habilitantkę i zestawionych w tabeli 3 (Szafarczyk et al., 2013) wartości należy stwierdzić, iż największą refleksyjnością (40÷45dB) wykazały się dla badanego obszaru pryzmaty odbijające.

Rodzaj monitorowanej powierzchni	SNR dla próbki liczącej kilkanaście pikseli [dB]	Poziome odchylenie wiązki od kierunku normalnego do monitorowanej powierzchni [^g]	Pionowe odchylenie wiązki od kierunku normalnego do monitorowanej powierzchni [^g]
Ściana z drewnianych desek bez impregnacji	20÷30	4	4
Ściana otynkowana w kolorze białym	5÷19	10	5
Ściana z drewnianych desek pomalowana na kolor brązowy	5÷28	7	6

Tab. 3. Zestawienie powierzchni różnego rodzaju wraz z wartościami odbicia fali radaru	ı dla nich
zaobserwowanej.	

Pryzmat odbijajacy (Rys. 7a)	40÷45	6	6
Ściana otynkowana w kolorze szarym	0÷12	30	10
Ściana murowana z pustaków szarych	15÷28	15	13
Grunt porośnięty trawą (nachylenie średnie stoku 28 ^g)	10÷20	0	0
Grunt nieporośnięty trawą (nachylenie średnie stoku 18 ^g)	10÷20	0	0

Problem powierzchni skutecznego odbicia w zastosowaniach cywilnych rozważany jest pod kątem zwiększenia wartości tego parametru. W szczególności, w pomiarach deformacji, w celu lepszego wykrycia i identyfikacji punktów, stosuje się tak zwane reflektory radarowe (ang. radar reflectors), składające się z trzech powierzchni (wykonanych z materiału przewodzącego) umieszczonych pod kątem prostym w stosunku do siebie lub szeregu takich reflektorów zmontowanych w jedną całość. Trójkątne reflektory radarowe (ang. corner reflectors) (Rys. 7a) są dobrze znane i ich własności są stosunkowo dobrze udokumentowane (Volakis, 2007). Maksymalna ilość energii odbijana jest wtedy, gdy wiązka pada w optymalnym kierunku, to znaczy wtedy, kiedy występująca radiacja tworzy równe kąty ze wszystkimi trzema powierzchniami reflektora. Kiedy kierunek padania fali jest odmienny od optymalnego, wielkość odbitej energii maleje. Dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu, powierzchnia skutecznego odbicia reflektora o wymiarach rzędu 30 cm wynosi kilka m².



Rys. 7. Reflektor radarowy a) trójścienny typu corner reflector b) wielościenny (fot. A. Szafarczyk).

Na rysunku 7b przedstawiono reflektor radarowy wielościenny dedykowany naziemnej interferometrii radarowej, zaprojektowany przez habilitantkę i zgłoszony do urzędu patentowego. Reflektory według niniejszego wzoru zostały z powodzeniem wykorzystane

w testach technologii naziemnej interferometrii radarowej realizowanych w KWB Bełchatów w 2016 roku pod kątem wdrożenia wyżej wymienionej technologii w tymże zakładzie górniczym.

Zmiana warunków atmosferycznych w trakcie prowadzenia pomiarów technologią GBInSAR powoduje zmiane warunków propagacji fali wykorzystywanej podczas pomiaru, co z kolei implikuje zmianę w uzyskiwanych wartościach przemieszczeń. W celu wyeliminowania wpływu zmiennych warunków atmosferycznych na wyniki pomiaru, wskazuje się na uzyskanym obrazie naziemne punkty kontrolne (ang. ground control points, GCP), które charakteryzują się wartością SNR>40dB i nie zmieniają swojego położenia w czasie trwania pomiaru. Punktom tym przypisywana jest zerowa wartość przemieszczenia, a pozostałe wartości przemieszczeń są korygowane. Korekta ta bazuje na założeniu, że zmiany warunków atmosferycznych, jak i ich wpływ na zmiany fazy sygnału, są jednorodne w przestrzeni i zmieniają się w sposób liniowy wraz z odległością. W pracach habilitantka (Szafarczyk et al., 2013; Szafarczyk, 2017), przyjmując różną liczbę punktów GCP, analizowała wpływ zmian warunków atmosferycznych na wyniki pomiaru przemieszczeń badanego osuwiska. Na rysunku 8 przedstawiono przemieszczenia punktów GCP (rd_{gcp}) w czasie (Szafarczyk, 2017). Biorąc pod uwagę fakt, iż punkty te nie podlegają w istocie żadnemu przemieszczeniu, można określić wartość liniową ich przemieszczenia wynikającą tylko i wyłącznie ze zmiennych warunków atmosferycznych.

Przyjmując współczynnik korekcyjny (wzór 1):

$$\alpha_{gcp} = \frac{rd_{gcp}}{R_{gcp}}$$
(wzór 1),

gdzie:

rd_{gcp} – wartość przemieszczenia punktu GCP (obarczona wpływem warunków atmosferycznych),

R_{gcp} – odległość punktu GCP od radaru,

można sprawdzić, czy hipoteza dotycząca wpływu warunków atmosferycznych na wyniki pomiaru jest słuszna i zmiany warunków atmosferycznych mają charakter liniowy w przestrzeni, bądź też czy punkty GCP są stabilne. Jeśli te założenia są spełnione, to współczynnik powinien mieć tę samą wartość we wszystkich wybranych punktach GCP, co zilustrowano na rysunku 8 (α_{gcp}).



Rys.8. Współczynniki charakteryzujące jakość korekty atmosferycznej wykonanej w oparciu o trzy naziemne punkty kontrolne: GCP1, GCP2, GCP3.

Obliczając rozstęp α_{gcp} dla punktów GCP w ramach każdego interferogramu, uzyskuje się współczynnik, który świadczy o jakości wykonanej korekty atmosferycznej, co ilustruje rysunek 8 ((max (α_{gcp})-min (α_{gcp}))*100). Niskie wartości tego parametru świadczą o tym, że współczynniki są podobne w obu punktach GCP, co jest jednocześnie związane z wysoką jakością korekty atmosferycznej. Przyjęty model jest zgodny z panującymi w terenie warunkami. Wartość ekstremalna współczynnika świadczy o jakości wprowadzonej korekty atmosferycznej oraz stanowi dowód na brak lub występowanie wzajemnego przemieszczenia względem siebie punktów GCP.

Efektem przeprowadzonej korekty jest uzyskanie realnie występujących wartości przemieszczeń d_{los} występujących na kierunku emisji fali (los) i opisanych wzorem 2:

$$d_{los} = -\frac{\lambda}{4\pi}\Delta \varphi$$
 (wzór 2),

gdzie:

 λ – długość fali,

 $\Delta \phi$ – różnica między fazami sygnału powracającego po odbiciu od obiektu w pierwszym i drugim pomiarze.

W celu wyznaczenia wartości przemieszczeń poziomych konieczna jest znajomość wzajemnych relacji geometrycznych zachodzących pomiędzy sygnałem emitowanym przez radar, a powierzchnią monitorowaną i jej nachyleniem, które w przeciwieństwie do satelitarnej interferometrii radarowej zależne są od obserwatora i jego decyzji odnośnie usytuowania stanowiska pomiarowego, kierunku emisji fali w płaszczyźnie poziomej

i płaszczyźnie pionowej (aspektu), które zostały wyznaczone przez habilitantkę w pracy (Szafarczyk, 2017).

Dla monitorowanej powierzchni pionowej i radaru emitującego fale pod kątem pionowym α ponad płaszczyzną horyzontu (Rys. 9a) przemieszczenie d_{los} jest redukowane według wzoru 3:

$$d = \cos\alpha \cdot d_{los} \qquad (wzór 3)$$

Przy tak samo nachylonych falach emitowanych przez radar, ale dla powierzchni nachylonej, tak jak przedstawiono to na rysunku 9b, redukcja przebiega według wzoru 4:

$$d = \cos \alpha * d_{los} - \frac{d_{los} * \sin \alpha}{\tan \beta}$$
 (wzór 4)

Jest to typowa konfiguracja radaru w monitoringu osuwisk lub zboczy skarp kopalni. Przy takiej konfiguracji przemieszczenia poziome są mniejsze od przemieszczeń obserwowanych.



Rys. 9. Wyznaczenie wartości przemieszczenia poziomego przy falach emitowanych przez radar pod katem α ponad płaszczyzną horyzontu a) dla obiektu monitorowanego pionowego b) dla obiektu monitorowanego nachylonego pod kątem β do płaszczyzny poziomej.

W sytuacji gdy radar umieszczony jest wyżej od monitorowanej powierzchni i emituje fale pod kątem α w stosunku do poziomu (Rys. 10a), to redukcja przemieszczeń d_{los}, na wartości realnych przemieszczeń poziomych *d* w przypadku obiektu pionowego następuje według zależności:

$$\begin{split} d &= \cos \alpha * d_{los} & (\text{wzór 5}) \\ \text{a w przypadku obiektu nachylonego do poziomu pod kątem } \beta \text{ (Rys. 10b) według wzoru:} \\ d &= \cos \alpha * d_{los} + \frac{d_{los} * \sin \alpha}{\tan \beta} & (\text{wzór 6}) \end{split}$$

W takim przypadku realne przemieszczenia poziome są większe od obserwowanych.



Rys. 10. Wyznaczenie wartości przemieszczenia poziomego przy falach emitowanych przez radar pod kątem α poniżej płaszczyzny horyzontu a) dla obiektu monitorowanego pionowego b) dla obiektu monitorowanego nachylonego pod kątem β do płaszczyzny poziomej.

Zastosowanie technologii naziemnej interferometrii radarowej do monitorowania terenów osuwiskowych wymaga zdaniem habilitantki spełnienia dodatkowo szeregu warunków o charakterze organizacyjnym oraz technicznym, umożliwiających wykonanie pomiaru i mających fundamentalne znaczenie dla prawidłowego przeprowadzenia pomiaru i interpretacji jego wyników (Szafarczyk et al., 2013; Szafarczyk, 2017).

Ocena efektywności zastosowanych technologii pomiarowych służących okresowemu badaniu stanu przemieszczeń osuwisk (pomiary kątowo-liniowe, technika satelitarna GNSS oraz naziemna interferometria radarowa) oparta została na obiektywnych kryteriach odnoszących się do zasobów ludzkich, sprzętowych oraz metodycznych (Tab. 4).

kryterium	pomiar tachimetryczny	pomiar satelitarny	naziemna interferometria radarowa
liczność zespołu pomiarowego	5 osót	o 3 dni	2 osoby transport 1 osoba włączenie instrumentu pomiar bezobsługowo
koszt instrumentów pomiarowych	50 000 zł	200 000 zł	750 000 zł
przenośność (łatwość transportu) 0,8358 zł/km- stan na dzień 21.03.2019	1 samochód osobowy koszt transportu: 0.8358 zł/km	2 samochody osobowe koszt transportu: 2*0.8358 zł/km	samochód transportowy mieszczący ładunek o długości 3.5 metra koszt transportu: 0.8358zł*km+ 250 zł/dzień
złożoność stabilizacji stanowiska	stabilizacja gotowych punktów	stabilizacja gotowych punktów	budowa betonowego fundamentu o wymiarach 0.7/2.0/1.5 metra, osadzenie na nim śrub

Tab. 4. Analiza efektywności zastosowanych technologii pomiarów przemieszczeń na przykładzi	ie
wybranego osuwiska.	

instrumentu	geodezyjnych, kupowanych	geodezyjnych, kupowanych	nagwintowanych, konieczność dysponowania gruntem na cele
			dzierżawy gruntu, w Bełchatowie
			pozwolenie na budowę zatwierdzane
			przez kierownika ruchu zakładu
czasochłonność	3 (Ini	2 godziny
pomiaru			2 godziny
wymagana liczba			1 stanowisko, dodatkowe punkty
stanowisk	równa liczbie za	stabilizowanych	poza terenem osuwiska
instrumentu	punktów (74	stanowiska)	wykorzystywane do wprowadzenia
pomiarowego			korekt atmosferycznych
wymagane	wykształcenie g	eodezyjne osób	1-godzinne przeszkolenie operatora,
doświadczenie	wykonując 	ych pomiar	wykształcenie geodezyjne osoby
operatora	i opracowując	ych ich wyniki	wykonującej opracowanie kameralne
sposób	dyskretny	dyskretny	ciaghy (nowierzchniowy)
obiektu	(punktowy)	(punktowy)	ciągiy (powierzchinowy)
łatwość			
popełnienia	duża	średnia	mała
błędu			
ograniczenia			konieczność istnienia rejonu
terenowe,	brak wizury	brak	stabilnego geologicznie, na którym
atmosferyczne,	niędzy	svenału GPS	fundament, a z niego widoczne jest
inne	p	0,8.0.0 0.0	całe osuwisko
			automatyczne odniesienie do
			wyników uzyskanych we
	odniosionio	adhiasiania	wcześniejszej serii – wartości
łatwość	wymaga	wymaga	w trybie natychmiastowym, istnieje
odniesienia do	opracowania	opracowania	niebezpieczeństwo nieoznaczoności
wyników	kameralnego	kameralnego	wyniku jeśli pomiędzy kolejnymi
poprzednich	trwającego 1	trwającego 1	pomiarami nastąpi przemieszczenie
pomiarów	dzien	dzień	większe niz 4,5 mm- z tego względu pomiar realizowany musi być
UNIESUWYCII	przez 2 osoby	przez 2 osoby	w trybie quasi-ciągłym przez długi
			czas, a wtedy instrument nie może
			jednocześnie monitorować kilku
			osuwisk
prace	zaplanowanie	zaplanowanie	ustawienie instrumentu na
przygotowawcze	којејności pomiaru	kolejności pomiaru	postumencie – 2 osoby w czasie około ½ godziny, możliwe iest

	punktów w sieci	punktów i ich	wykonanie pomiaru, korzystając	
	kątowo-liniowej	konfiguracji –	z zasilania sieciowego lub z baterii	
	– 2 godziny,	2 godziny,	(ładowanie baterii)	
	ładowanie	ładowanie		
	baterii	baterii		
bezpieczeństwo	wysokie	wysokie		
	niebezpieczeńst	niebezpieczeńst		
	wo upadku	wo upadku	wysokie niebezpieczeństwo urazu ze	
	i urazu ze	i urazu ze	względu na duży ciężar zestawu	
	względu na	względu na	pomiarowego – około 240 kg	
	trudne warunki	trudne warunki		
	terenowe	terenowe		
hat	łatwe	łatwe		
	wnioskowanie	wnioskowanie	łatwe wnioskowanie dotyczące całej powierzchni	
	dotyczące	dotyczące		
o zachowaniu się zjawiska	konkretnych	konkretnych		
	punktów	punktów		
			dwuwymiarowy obraz w formie	
sposób	zestawienie	zestawienie tabelaryczne lub wykres	pikseli, których barwa zależna jest od	
prezentacji wyników pomiaru			wartości przemieszczenia. rozmiar	
			piksela 0.75 m na kierunku emisji fali	
			i 4.3 mrad na kierunku prostopadłym	
			do kierunku emisji fali	

Oceniając przydatność zastosowanych technologii i mając na uwadze występujące różnice w specyfice prowadzonych pomiarów, należy rozważyć dwa typy osuwisk: o postępie szybkim (zauważalnym dobowo) oraz powolnym (zauważalnym tygodniowo lub miesięcznie). Przy szybkich ruchach powierzchni terenu istotny jest ciągły monitoring przemieszczeń i w takim przypadku znacznie większą przydatność wykazuje naziemna interferometria radarowa. Ruchy terenu o charakterze wolnozmiennym nie muszą być natomiast monitorowane w sposób ciągły. Okresowa obserwacja wybranych punktów, pod warunkiem wystarczająco gęstej sieci zastabilizowanych punktów, pozwala zobrazować ruchy powierzchni terenu nawet nieznacznie przekraczające wartości błędów pomiarowych użytych instrumentów, co szerzej opisano w pracy (Szafarczyk et al., 2013).

Zagrożenie osuwiskowe danego zbocza (lub skarpy) powszechnie ocenia się na podstawie liczbowej wartości tak zwanego współczynnika stateczności zbocza (współczynnika bezpieczeństwa), określanego stosunkiem sił lub momentów sił utrzymujących zbocze w równowadze (sił pasywnych) do sił lub ich momentów, dążących do zachwiania stateczności (sił aktywnych). Wartość liczbowa takiego współczynnika mniejsza od jedności określa zbocze jako niestateczne, a bliska jedności (np. $1.0 \div 1.2$) jako zagrożone osuwiskiem (Szafarczyk et al., 2013).

Drugim obecnie stosowanym sposobem oceny zagrożenia osuwiskowego zboczy jest tzw. metoda obserwacyjna, która jest następstwem coraz powszechniejszego monitoringu

osuwisk. Ocenie (obserwacji) podlegają tu wartości przemieszczeń gruntów na zboczu, a zwłaszcza prędkości przemieszczeń. Na tej podstawie ocenia się stopień zagrożenia osuwiskiem, w tym stadium lub fazę ruchu osuwiskowego, a także przybliżony moment wystąpienia zasadniczego ruchu osuwiskowego. Ma to duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza we wkopach kopalnianych i budowlanych, ale także na zboczach naturalnych. Pozwala bowiem na lepsze określenie momentu ewentualnej ewakuacji ludzi i sprzętu z zagrożonego rejonu lub podejmowania przeciwdziałań zabezpieczających (Szafarczyk et al., 2013).

W ramach zrealizowanych prac (Szafarczyk, 2012; Szafarczyk et al., 2013) na tle ogólnych danych o osuwiskach i ich kinematyce zawarto wyniki badań geologiczno-inżynierskich oraz monitoringowych dwóch wybranych osuwisk: osuwiska zbocza naturalnego w Karpatach (osuwisko w miejscowości Milówka) oraz osuwiska fragmentu zbocza południowego odkrywkowej Kopalni Węgla Brunatnego "Bełchatów" wraz z oceną warunków i przyczyn ich wystąpienia. W szczególności opisano wyniki i metodyczne aspekty monitoringu za pomocą naziemnej interferometrii radarowej. Zintegrowanie pomiarów z użyciem radaru interferometrycznego z dotychczas stosowanymi w geodezji technikami pomiarowymi osuwisk stanowiło nie stosowaną jeszcze w kraju metodę ich monitoringu. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów archiwalnych osuwisk z kopalni "Bełchatów", a także dotychczasowych danych literaturowych dotyczących kinematyki osuwisk zaproponowano wstępnie kryteria praktyczne określające kinematykę faz osuwiskowych, a zwłaszcza kryterium wystąpienia zasadniczego ruchu osuwiskowego stwarzającego określone zagrożenia.

Osuwisko o numeracji 24S powstało na zboczu południowym wyrobiska odkrywkowego, w tak zwanym rejonie zagrożenia osuwiskowego oznaczonym XVI/S. Pierwsze przejawy wyraźniejszych deformacji zbocza w rejonie zagrożenia XVI/S wystąpiły w lutym 2004 roku, obejmując fragment zbocza w zakresie rzędnych +173/+147 m n.p.m. Miały one charakter spękań gruntu, które powstały po upływie 4 miesięcy od wyprofilowania zbocza w tym rejonie.

W wyniku analizy stateczności przeprowadzonej z wykorzystaniem programu GeoSlope metodami równowagi granicznej (przy wykorzystaniu wartości parametrów geotechnicznych przedstawionych w (Szafarczyk et al., 2013)) uzyskano współczynnik stateczności równy F<1 (F=0,938), co wskazuje na niestateczność analizowanego fragmentu zbocza.

W rejonie osuwiska 24S kopalnia Bełchatów prowadzi pomiary sytuacyjno-wysokościowe na zastabilizowanych punktach powierzchniowych od 2002 roku. W obrębie osuwiska 24S zlokalizowanych jest 14 punktów, a bezpośrednio nad osuwiskiem, poza wkopem, 4 punkty. Analiza archiwalnych wyników geodezyjnych pomiarów dyskretnych prowadzonych w rejonie osuwiska 24S obejmowała dwa okresy aktywności osuwiska, tj. od 09.12.2005 r. do 11.01.2006 r. (reprezentujący fazę zasadniczych ruchów osuwiskowych) dla 3 punktów pomiarowych oraz od 09.01.2009 r. do 30.09.2011 r. (reprezentujący fazę wygasania ruchów osuwiskowych) dla 14 punktów pomiarowych. Spośród punktów obserwowanych w fazie wygasania, 6 punktów wykazuje stałe położenie lub też nieistotne wartości ruchów. Lokalizację punktów obserwowanych w obydwu okresach, punktów stałych, wektorów



całkowitych przemieszczeń analizowanych punktów oraz obrys konturu osuwiska uwidoczniono na mapie sytuacyjnej (Rys. 11).

Rys. 11. Wektory przemieszczeń całkowitych punktów obserwowanych (pomiary archiwalne) na tle granic zasięgu osuwiska 24S.

Na podstawie analizy materiałów graficznych obejmujących archiwalne: wykresy dobowych prędkości poziomych przemieszczeń punktów, wykresy dobowych prędkości obniżeń punktów, wykresy kinematyki poziomych przemieszczeń punktów (trajektoria ruchu punktów) oraz wykresy pionowych przemieszczeń punktów w czasie (kinematyka obniżeń) sformułowano następujące wnioski (Szafarczyk et al., 2013):

- interpretacja wartości prędkości przemieszczeń punktów generalnie nie pozwala na wyciąganie wniosków odnośnie zależności między lokalizacją punktu na osuwisku, a czasowym momentem wystąpienia przyspieszenia lub spowolnienia ruchu punktu;
- w fazie ruchów wstępnych i zasadniczych występują największe i najbardziej intensywne przemieszczenia poziome trzech obserwowanych punktów (222, 231 i 232), których całkowite wartości zawierają się od ok. 26 m do ok. 41 m. Prędkość poziomych przemieszczeń tych punktów zawiera się od 1200 do 2000 mm/dobę;
- w fazie wygasania ruchów osuwiskowych osuwisko jest aktywne ze zróżnicowaną intensywnością przyrostu przemieszczeń poziomych, między którymi występują okresy spoczynku (spokoju). Całkowite wartości tych przemieszczeń wynoszą 5-13 m, a maksymalna prędkość przemieszczeń wynosi od 30 do 40 mm/dobę;

- porównując wartości całkowitych przemieszczeń poziomych z wartościami końcowych obniżeń obserwowanych punktów, również i w tym przypadku brak jest widocznej korelacji między tymi składowymi przestrzennych wektorów przemieszczeń;
- w fazie ruchów wstępnych i zasadniczych całkowite obniżenia punktów wynoszą od ok. 13,5 m do ok. 19,1 m, a dobowe przyrosty obniżeń dochodzą do około 1500 mm/dobę. Mamy tu do czynienia z bardzo dynamicznym zjawiskiem, trwającym tylko około 3 tygodni;
- w fazie wygasania ruchów osuwiskowych całkowite obniżenia punktów wynoszą około 2-6 m, a dobowe przyrosty obniżeń dochodzą do ok. 7 mm/dobę. Ta faza aktywności osuwiska przebiega stosunkowo równomiernie w czasie i rozciąga się na okres około 2,5 roku;
- trajektorie poziomych przemieszczeń punktów w czasie wskazują w przypadku obydwu okresów na liniowy przebieg zjawiska. Kierunek wektora przemieszczeń poziomych jest w niewielkim stopniu zróżnicowany między punktami pomiarowymi, lecz dla poszczególnego punktu przyrosty tych przemieszczeń wykazują stały kierunek. Również i w tym przypadku brak jest widocznej korelacji w odniesieniu do lokalizacji punktu w obrysie osuwiska;
- w fazie ruchów wstępnych mamy do czynienia z gwałtownym (dynamicznym) przyrostem obniżeń punktów w czasie, charakteryzującym się w przybliżeniu liniowym przebiegiem.

W wyniku analizy materiałów archiwalnych stwierdzono, iż osuwisko 24S jest aktywne, a obserwowane wartości przemieszczeń w funkcji czasu wskazują na wstąpienie procesu w fazę wygasania.

W fazie tej habilitantka przeprowadziła 7 serii pomiarowych naziemnym radarem interferometrycznym IBIS w wersji L, podczas których wykonała każdorazowo minimum 8 zobrazowań radarowych (Szafarczyk et al., 2013). Możliwe do wygenerowania interferogramy (Rys. 12a) wykonano z uwzględnieniem jednego terenowego punktu GCP. Docelowo, po opracowaniu interferogramów i ich dalszej analizie, określono wartości chwilowych przemieszczeń powierzchni osuwiska oraz prędkości tych przemieszczeń.



Rys. 12. Wartości przemieszczeń terenu osuwiska 24S w Bełchatowie a) interferogram (dla okresu 24h) b) wartości przemieszczeń wybranego piksela interferogramu w funkcji czasu (24h) (wybrano piksel o największych zaobserwowanych wartościach przemieszczeń).

W rozpatrywanych okresach pomiarowych obejmujących kilka godzin wyznaczone maksymalne, chwilowe prędkości przemieszczeń wybranych punktów osuwiska wynosiły od 1.3 mm/h do 5.5 mm/h. W ostatniej serii pomiarowej maksymalna prędkość przemieszczeń wynosiła 4mm/dobę (Szafarczyk et al., 2013) (Rys. 12b).

W rezultacie analizy wyników dyskretnych pomiarów geodezyjnych prowadzonych na zastabilizowanych punktach (patrz Rys. 11) w fazie wygasania procesu wyselekcjonowano "punkty ruchome", których początkowe położenie wraz z miniaturowymi wykresami trajektorii tych punktów przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Początkowe położenie i trajektorie "punktów ruchomych" w rozważanym przedziale czasu od 05.01.2011 r. do 31.01.2013 r.

Punkty ruchome podlegały w rozpatrywanym okresie dwóch lat ciągłym przemieszczeniom, które sumarycznie wynosiły od około 1 metra do około 5 metrów w zależności od lokalizacji w obrębie osuwiska. Dla wszystkich punktów zaobserwowano zmianę prędkości przemieszczeń (zwiększenie prędkości pomiędzy pierwszym i drugim półroczem oraz hamowanie procesu pomiędzy trzecim i czwartym półroczem). Średnie prędkości przemieszczeń poziomych dla całego rozpatrywanego okresu nie przekraczały 8 mm/dobę (dla punktu 502), a w większości przypadków (pozostałe punkty) osiągały maksymalnie 5 mm/dobę, co zostało wyinterpolowane z 7-10 dniowego cyklu pomiarowego.

Osuwisko na terenie miejscowości Milówka-przysiółek Prusów, w gminie Milówka w powiecie żywieckim, w województwie śląskim, jest osuwiskiem starym, notowanym w 1959 roku na Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski (SMGP) w skali 1:50 000, arkusz Milówka oraz na Mapie Osuwisk i Terenów Zagrożonych (MOTZ) w skali 1:10 000 w 2009 roku, jednakże uważane było wówczas za nieaktywne. Osuwisko uaktywniło się 2 września 2010 r. po wyjątkowo intensywnych i długotrwałych opadach atmosferycznych obejmując obszar około 12 ha.

Analiza stateczności zbocza osuwiskowego w Milówce została przeprowadzona metodą Spencera dla dwóch przekrojów geologiczno-inżynierskich, w oparciu o wyznaczone

(Szafarczyk et al., 2013) wartości parametrów wytrzymałościowych, które zgodnie z wynikami przeprowadzonej analizy geotechnicznej były najbardziej prawdopodobnym miejscem przebiegu powierzchni poślizgu (co określono również na podstawie wykonanego profilu georadarowego (Maciaszek et al., 2015)).

Na terenie osuwiska i w jego rejonie habilitantka zastabilizowała 74 punkty pomiarowe stanowiące sieć obserwacyjną dla badań wykonywanych w technologii GNSS w trybie statycznym, uzupełnianych klasycznymi pomiarami kątowo-liniowymi (Szafarczyk et al., 2013), oraz dwa reflektory radarowe stanowiące punkty GCP dla pomiarów realizowanych z wykorzystaniem technologii naziemnej interferometrii radarowej.

Wyniki sześciu serii pomiarowych przeprowadzonych w okresie od października 2011 r. do kwietnia 2013 r. na zastabilizowanych punktach posłużyły do wyznaczenia wielkości wektorów przemieszczeń poziomych i pionowych w badanym rejonie. Graficzny obraz wektorów przemieszczeń poziomych punktów sieci obserwacyjnej osuwiska w Milówce zdefiniowanych w okresie październik 2011 r. – kwiecień 2013 r. na podstawie pomiarów zintegrowanych i przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Wektory przemieszczeń poziomych punktów sieci obserwacyjnej osuwiska w Milówce.

Wartości przestrzennych przemieszczeń punktów kontrolowanych wraz z błędami wskazują, iż jedynie na dwóch punktach zaobserwowano wartości przemieszczeń poziomych większe od 20 mm i to jedynie w drugiej serii pomiarowej. Punkt 9.10 znajdujący się w północnozachodniej części osuwiska, w bliskim sąsiedztwie skarpy głównej, przemieścił się o 37 mm, punkt 41.05 zastabilizowany w południowo-zachodniej części, na jęzorze, przemieścił się o 56 mm. Przestrzenne przemieszczenia obserwowane na pozostałych punktach osiągały wartości kilku lub kilkunastomilimetrowe, przy jednoczesnym wyznaczeniu błędów przemieszczeń wynoszących średnio 4 mm, a dochodzących do 8 mm (Szafarczyk et al., 2013), co świadczy o stabilności stoku.

Dla terenu osuwiska w Milówce habilitantka przeprowadziła sześć serii pomiarowych naziemnym radarem interferometrycznym IBIS w wersji L, podczas których wykonano każdorazowo minimum osiem zobrazowań radarowych. Interferogramy utworzone z uwzględnieniem korekty atmosferycznej posłużyły do wyznaczenia wartości przemieszczeń powierzchni całego osuwiska (Rys. 15).



Rys. 15. Interferogram osuwiska w Milówce na tle mapy warstwicowej (okres 10.2011-04.2013).

Maksymalne wartości przemieszczeń całkowitych (okres 10.2011-04.2013), wyznaczone z wykorzystaniem naziemnej interferometrii radarowej, wynosiły 4 mm w rejonie punktów 13.15 (rejon skarpy bocznej osuwiska) oraz 41.05 (jęzor osuwiska). Uzyskanie takich wartości przemieszczeń wskazuje na ustabilizowanie się stoku.

Przedstawiona w pracy (Szafarczyk et al., 2013) próba oceny kinematyki osuwisk w gruntowych ośrodkach spoistych (lub w przewadze spoistych), przydatna w praktycznej ocenie stopnia zagrożenia osuwiskowego, oparta została głównie na danych literaturowych, uzupełnionych pomiarami archiwalnymi osuwisk zlokalizowanych we wkopie kopalni "Bełchatów". Wykorzystano również wyniki pomiaru ruchów osuwiskowych prowadzone

przez zespół habilitantki od 2011 roku, które objęły okres stabilizacji jednego z osuwisk (osuwisko w Milówce) oraz okres ruchów wtórnych poosuwiskowych (osuwisko 24S w kopalni "Bełchatów"). Nie uchwycono pełnych cykli ruchu osuwiskowego na badanych obiektach, tak więc ocena przemieszczeń oraz szybkości mogła być wykonana tylko dla aktualnego stadium i fazy ruchu osuwiska. Na takie a nie inne zachowanie się badanych osuwisk nie ma się niestety wpływu, typując wcześniej obiekty do badań.

Dane literaturowe wskazują, że poziome przemieszczenia krytyczne gruntów na zboczach, warunkujące rozwiniecie się w pełni ruchu osuwiskowego, zawierają się na ogół w granicach 0,5 ÷ 2,5 m, przy czym te większe wartości dotyczą większych obszarowo osuwisk. Przy mniejszych przemieszczeniach poziomych dochodzi na ogół do wyhamowania i uspokojenia zapoczątkowanego ruchu. Prędkości przemieszczeń poziomych mniejsze od około 2 mm/dobę ocenia się jako bezpieczne i niewywołujące procesu osuwiskowego. Towarzyszące im przemieszczenia poziome gruntów na zboczach wynoszą wtedy najczęściej kilka, a rzadko kilkanaście centymetrów. Związane są one głównie z odprężaniem się gruntu na zboczach wkopów budowlanych i odkrywek kopalnianych, a na zboczach naturalnych są na ogół wynikiem zmian warunków atmosferycznych oddziałujących na przypowierzchniową strefę zbocza i związanym z nimi okresowym pełzaniem gruntu oraz jego pęcznieniem lub skurczem termicznym wskutek wysychania. Prędkości przemieszczeń poziomych w granicach około 2÷5 mm/dobę, niekiedy tylko większe, są na ogół charakterystyczne już dla fazy przedosuwiskowej. Zgodnie jednak z koncepcją progresywnego lub regresywnego rozwoju osuwisk przy takich prędkościach przemieszczeń poziomych gruntu może, lecz nie musi dojść do pełnego rozwoju procesu osuwiskowego (Zavodni, 2000). W każdym przypadku traktuje się takie szybkości przemieszczeń poziomych jako ostrzegawcze. Początek zasadniczych ruchów osuwiskowych występuje najczęściej przy prędkościach przemieszczeń poziomych około 10÷15 mm/dobę, przy czym według danych literaturowych (Rybicki et al., 2000; Zavodni, 2000; Czarnecki et al., 2007) za krytyczną prędkość przemieszczeń przyjmuje się na ogół 30 mm/dobę, a alarmową 50÷150 mm/dobę. W trakcie trwania zasadniczych przemieszczeń osuwiskowych ich prędkości są największe i wahają się w dość szerokim zakresie, zależnie głównie od stopnia zawilgocenia (zawodnienia) gruntu pozostającego w ruchu, a także od kąta nachylenia zbocza. Można przyjąć, że prędkości takich przemieszczeń zawierają się głównie w granicach około 50÷1500 mm/dobę rzadko więcej, a często wynoszą one około 200÷500 mm/dobe (przykładowo na osuwisku w Milówce wynosiły około 360÷700 mm/dobę, a na osuwisku 24S w kopalni "Bełchatów" około 55÷65 mm/dobę). Faza wygasania (hamowania) ruchu osuwiskowego charakteryzuje się na ogół stopniowym zmniejszaniem się prędkości przemieszczeń gruntów, które mogą jednak okresowo wzrastać, dążąc ostatecznie do całkowitego lub względnego ustabilizowania się zbocza (przypadek osuwiska w Milówce), albo jak w przypadku osuwiska 24S w kopalni "Bełchatów" występowania stałego długotrwałego przemieszczania się gruntu, co warunkowane było głównie postępującymi robotami górniczymi i pogłębianiem odkrywki. Należy dodać, że sugerowane tu bezpieczne, ostrzegawcze i krytyczne prędkości przemieszczeń osuwiskowych odnoszą się głównie do zboczy sztucznie utworzonych (wykopy, odkrywki kopalniane) o nachyleniu w granicach około 8÷10° do około 20÷25°, zbudowanych z gruntów spoistych lub w przewadze spoistych, gdzie powierzchnie poślizgu

osuwiskowego przebiegają w całości lub w większej części w materiale spoistym charakteryzującym się wyraźnymi cechami odkształceń plastycznych w warunkach obciążeń. Inaczej mówiąc, odnoszą się one do zboczy zbudowanych z gruntów o konsystencji zbliżonej do twardoplastycznej i niewykazujących oznak silnego zawodnienia. W gruntach silnie zawodnionych (zwłaszcza na zboczach naturalnych, gdzie występują stare koluwia) prędkości przemieszczeń w fazie zasadniczego ruchu osuwiskowego są na ogół wyższe i mogą dochodzić do około 12000÷20000 mm/dobę (Rybicki et al., 1998). Oprócz szybkości ruchów osuwiskowych w poszczególnych fazach i stadiach, drugim ważnym dla praktyki parametrem jest okres ich trwania. Jego określenie pozwala na zrealizowanie ewentualnych przeciwdziałań zagrożeniu osuwiskowemu. Jest to jednak parametr bardzo zmienny i nie jest go łatwo ustalić. Nie są to bowiem ruchy jednostajne, lecz zmienne w czasie w przedziale każdej fazy. Faza ruchów początkowych, przedosuwiskowych (progowe szybkości przemieszczeń gruntów około 2+5 mm/dobę) zazwyczaj trwa najdłużej. Opierając się na lepiej udokumentowanych badaniach osuwisk na zboczach odkrywek kopalnianych, można stwierdzić, że faza ruchów wstępnych może trwać nawet do około 1 roku (Rybicki et al., 2000). W przypadku ruchów regresywnych, po początkowym przyroście szybkości ruchów zmniejszają się one w czasie aż do stałej lub przejściowej stabilizacji mas gruntowych. W przypadku jednak ruchów progresywnych (progowe szybkości przemieszczeń gruntów około 10÷15 mm/dobę), szybkości przemieszczeń narastają w czasie i w różnych osuwiskach przebiega to z różnym natężeniem, co zależy głównie od kąta nachylenia zbocza oraz samej powierzchni poślizgu i stopnia zawodnienia mas koluwialnych. Opierając się w dalszym ciągu na przykładach osuwisk w kopalniach odkrywkowych, można stwierdzić, że pierwsze stadium fazy osuwiskowej, kiedy prędkości ruchów dochodzą do około 30 mm/dobę, może trwać około 2÷3 miesięcy, a drugie stadium, gdy prędkości ruchów osiągają progową krytyczną wartość około 50 mm/dobę – około 0.5÷2.5 miesiąca. Sam zasadniczy proces osuwiskowy (trzecie stadium fazy osuwiskowej), gdy prędkości ruchów przekraczają około 50 mm/dobę, może trwać od kilku, kilkunastu dni przy dużych prędkościach przemieszczeń do około trzech miesięcy przy wolniej postępujących przemieszczeniach. Przykładowo w osuwisku 24S w kopalni "Bełchatów" faza ruchów początkowych trwała ponad rok, natomiast faza zasadniczego ruchu osuwiskowego (I, II i III stadium) trwała około 1 miesiąca. Osuwisko to na tle innych osuwisk w kopalni "Bełchatów" uchodziło za stosunkowo szybkie. Nie ma niestety dokładniejszych danych dla osuwiska w Milówce, lecz można sądzić, że faza zasadniczego ruchu osuwiskowego we wrześniu 2010 roku trwała co najmniej kilka dni.

Prowadząc monitoring osuwisk, należy więc dążyć do rejestracji czasu trwania poszczególnych faz i stadiów ruchu osuwiskowego w danych warunkach geologicznomorfologicznych, co pozwoli na stosowanie metody analogii do innych osuwisk i lepsze określenie stopnia zagrożenia osuwiskowego w danej fazie ruchu.

Rozpatrując problem osuwisk z punktu widzenia zagrożenia, jakie stwarzają dla obiektów budowlanych i infrastruktury, najbardziej znaczącym wskaźnikiem deformacji (dla większości obiektów) jest odkształcenie liniowe, a zwłaszcza odkształcenie liniowe rozciągające powodujące powstawanie uszkodzeń w postaci rys i pęknięć.

Teoretyczne podstawy wyznaczania deformacji wywodzą się z teorii sprężystości. W celu uproszczenia rozwiązania problemu w klasycznej teorii sprężystości, czyni się pewne założenia. Przede wszystkim zakłada się, że wszystkie występujące przemieszczenia i deformacje są bardzo małe (Braber, 2002). Dodatkowo zakłada się, że w nieskończenie małym otoczeniu danego punktu deformacje mają charakter liniowy (Sokolnikoff, 1946) oraz że funkcje definiujące odkształcenie są ciągłe i różniczkowalne (Hjelmstad, 2005). Spośród wielu definicji odkształcenia liniowego znanych z literatury, w praktyce geodezyjnej stosuje się liniowe odkształcenie ε w sensie Cauchy'ego (Hjelmstad, 2005), wyznaczane zgodnie z formułą (wzór 7). Wyznaczanie wartości odkształcenia liniowego ε , na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych, polega na określeniu wartości długości danego odcinka w dwóch różnych momentach czasu, a następnie wyznaczeniu względnej zmiany tej długości:

 $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} , \qquad (\text{wzór 7})$

gdzie:

 I_o – długość odcinka w pomiarze pierwotnym,

I – długość odcinka po deformacji.

Długość odcinka / może być pomierzona bezpośrednio (tachimetrem) lub też obliczona ze współrzędnych (wyznaczonych np. na podstawie pomiarów GNSS), a w zależności od sposobu wyznaczenia długości jej błąd jest różny (Szafarczyk, 2016).

Wartości obliczonych odkształceń liniowych wyznaczanych na podstawie zależności (wzór 7) dotyczą jedynie konkretnych boków, dla których były wyznaczane. Znajomość wartości odkształcenia w dowolnym kierunku wychodzącym z danego punktu (czyli znajomość składowych tensora odkształcenia) możliwa jest, jeśli wyznaczone będą wartości minimum trzech odkształceń liniowych wraz z azymutami ich występowania. Realizowane jest to poprzez wykonanie pomiaru na bokach tak zwanych rozet geodezyjnych o różnym kształcei.

Konstrukcje te z powodzeniem wykorzystywane są w różnego rodzaju pomiarach geodezyjnych (Hejmanowski, 2005; Kontny et al., 2014; Kwinta, 2012; Szafarczyk, 2013; Pielok et al., 2004).

Dla każdej rozety zestawiany jest i rozwiązywany układ równań o postaci wzoru 8:

 $\varepsilon_{i} = \varepsilon_{11} \cos^{2} \varphi_{i} + 2\varepsilon_{12} \cos \varphi_{i} \sin \varphi_{i} + \varepsilon_{22} \sin^{2} \varphi_{i}$ (wzór 8) gdzie:

ε_i – odkształcenie liniowe na boku *i*,

 φ_i – azymut boku *i*,

 ϵ_{11} , ϵ_{12} , ϵ_{22} – składowe tensora odkształcenia.

Rozwiązaniem układu równań są składowe tensora odkształcenia. Tensor odkształcenia w formie macierzowej przyjmuje postać wzoru 9 (Lebedev, 2010):

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} \end{bmatrix}$$
(wzór 9)

Wartości składowych na przekątnej głównej:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \text{ oraz } \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_y}{\partial y}$$

interpretowane są jako odkształcenia na kierunkach osi przyjętego układu współrzędnych, natomiast składowa poza przekątną główną macierzy (symetrycznej) $\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)$

interpretowana jest jako odkształcenie postaciowe, przy czym u_x , u_y oznaczają wartości przemieszczeń na kierunkach osi x, y układu współrzędnych.

Na płaszczyźnie istnieje para kierunków, wzajemnie prostopadłych, na których odkształcenia liniowe osiągają wartości ekstremalne ε_{max} i ε_{min} , zwane odkształceniami głównymi i wyznaczane są według wzoru 10:

$$\frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_{\min}} = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} \pm \frac{1}{2} \left[\left(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22} \right)^2 + 4\varepsilon_{12}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$
(wzór 10)

wraz z kątem β zawartym pomiędzy kierunkiem występowania odkształcenia maksymalnego \mathcal{E}_{max} , a osią x układu współrzędnych (wzór 11):

$$\beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}}$$
(wzór 11)

oraz wartością odkształcenia postaciowego γ_{ekstr} (wzór 12):

$$\gamma_{ekstr} = \varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min} = \pm \left[(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{12}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$
(wzór 12)

Rozety trójkątne, skonstruowane przez habilitantkę na punktach założonej wcześniej sieci punktów kontrolowanych, zostały wykorzystane do określenia stanu odkształcenia powierzchni dwóch osuwisk różniących się stopniem aktywności oraz przyczyną powstania (Szafarczyk et al., 2016). Oceniono również istotność tych odkształceń w zależności od technologii wykonanego pomiaru i jego dokładności (Szafarczyk, 2016).

Dla przypadku osuwiska w Milówce, 74 punkty stanowiły wierzchołki dla 114 skonstruowanych rozet trójkątnych. Dla tych rozet, w okresie dwóch lat i sześciu miesięcy, wyznaczone zostały składowe tensora odkształcenia, a z nich wartości odkształceń ekstremalnych wraz z kierunkami ich występowania. Wyniki obliczeń przedstawione zostały w formie wektorów w odpowiedniej skali podanej w legendzie (Rys. 16).



Rys. 16. Wartości odkształceń ekstremalnych wyznaczonych dla poszczególnych rozet na terenie osuwiska w Milówce wraz z kierunkami ich występowania (Szafarczyk et al., 2016).

Wyznaczone wartości odkształceń, zarówno rozciągających, jak i ściskających nie przekraczają wartości 0,4 mm/m, co dla osuwisk jest wartością bardzo małą, nie powodującą uszkodzeń obiektów budowlanych zlokalizowanych na terenie osuwiska.

Dokładność obliczonych odkształceń wynosi od 0,28 mm/m do 1,27 mm/m dla kilku przypadków. Oznacza to, iż jedynie część wartości odkształceń (występujących w rejonie centralnej części osuwiska) była istotna ze statystycznego punktu widzenia.

Kierunki występowania odkształceń rozciągających są bardzo zróżnicowane i wskazują na bardzo wysoki udział czynnika losowego (w tym błędu pomiaru) w uzyskiwanych wynikach.

Biorąc pod uwagę morfologię osuwiska, można wskazać obszary, w których występują odkształcenia rozciągające, o kierunku zgodnym z kierunkiem nachylenia zbocza, których charakter nie jest przypadkowy. Są to rejony jęzora osuwiska oraz niszy w centralnej i zachodniej części osuwiska.

Warto zaznaczyć, że w bezpośrednim sąsiedztwie regionów wspomnianych rozet, gdzie występują naprężenia rozciągające, w kierunku południowym (w rejonach niższych rzędnych wysokościowych) występują odkształcenia ściskające.

Istniejąca sieć punktów zastabilizowanych na terenie osuwiska 24S w Bełchatowie została wykorzystana do utworzenia sieci dziewiętnastu trójkątów stanowiących rozety trójkątne, dla których podobnie jak w przypadku osuwiska w Milówce, wyznaczone zostały składowe tensora odkształcenia, wartości odkształceń ekstremalnych i kierunki ich występowania. Rezultaty zaprezentowano w formie graficznej (Rys. 17).



Rys. 17. Wartości odkształceń ekstremalnych wyznaczonych dla poszczególnych rozet na terenie osuwiska 24S w Bełchatowie wraz z kierunkami ich występowania (Szafarczyk et al., 2016).

Wartości odkształceń wyznaczone dla tego osuwiska w okresie dwóch lat i sześciu miesięcy osiągnęły 20 mm/m, co nie pozwala na bezpieczne i niezawodne użytkowanie żadnego budynku, a co więcej – powoduje zagrożenie dla pracowników kopalni i maszyn pracujących na dnie wyrobiska odkrywkowego, w sąsiedztwie jęzora przedmiotowego osuwiska.

Dokładność obliczonych odkształceń wynosiła od 0,15 mm/m do 4 mm/m. W relacji do wszystkich uzyskanych wartości odkształceń liniowych oznacza to, iż są one istotne ze statystycznego puntu widzenia. Wszystkie wyznaczone odkształcenia rozciągające, poza rozetą numer 16, występują na kierunku zgodnym z kierunkiem nachylenia powierzchni osuwiska, podczas gdy ich największe wartości występują w rejonie skarpy głównej. Odkształcenia ściskające występujące w rejonie skarpy głównej wskazują na fakt występowania przemieszczeń punktu 284 w dół stoku (w kierunku północnym), o wartościach większych niż przemieszczenia punktów 342 i 343, co jest dowodem na trwającą nadal zmianę obrysu osuwiska. Główna skarpa w tym rejonie zmienia swoje położenie w wyniku dużej aktywności osuwiska i przemieszcza się w kierunku południowym, powodując zagrożenie dla sieci energetycznej oraz drogi.

Dobór lokalizacji zakładanych boków rozet lub też wykorzystanie już istniejących punktów ma fundamentalne znaczenie dla prawidłowej interpretacji stanu odkształcenia i uzyskania wyników zgodnych z występującym stanem deformacji. W przedstawionych dwóch przykładach zwrócono uwagę na fakt, iż kierunek występujących odkształceń ekstremalnych (w tym przypadku rozciągających) nie jest zawsze zgodny z kierunkiem największego spadku zbocza i jest związany z usytuowaniem rozety w stosunku do źródła występujących deformacji. Zaprezentowana metodologia wyznaczania wartości odkształceń ekstremalnych jest szczególnie użyteczna w takich rejonach, gdzie kierunki odkształceń ekstremalnych są zmienne w czasie. Stąd też korzystne jest sytuowanie rozet w bezpośrednim sąsiedztwie zagrożonych budynków, gdyż pozwala to na stwierdzenie związku pomiędzy uszkodzeniem budynku a aktywnością osuwiska.

Zgodnie z polskim prawem (Ustawa, 2001) starosta zobowiązany jest do prowadzenia obserwacji terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy, a także do prowadzenia rejestru zawierającego informacje o tych terenach. Sposób prowadzenia, formę i układ rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy określa rozporządzenie (Rozporządzenie, 2007).

W roku 2014 w powiecie krakowskim, stanowiącym 0,004 procent powierzchni całego kraju, zewidencjonowano i udokumentowano istnienie 49 osuwisk. W utworzonym Rejestrze, prowadzonym w formie elektronicznej bazy danych, zawarto dane graficzne w formie map terenów, na których występują ruchy masowe ziemi, oraz karty rejestracyjne osuwisk (Kaczmarczyk i Olszak, 2014). Ze względu na zagrożenie dla istniejącej infrastruktury, dziewięć spośród zewidencjonowanych osuwisk wytypowano do monitoringu geodezyjnego. Bazując na doświadczeniu naukowym w wyżej wymienionym zakresie, habilitantka została wskazana przez Starostwo na kierownika projektu, w ramach którego starosta krakowski zlecił Akademii Górniczo-Hutniczej zaprojektowanie sieci punktów kontrolowanych na przedmiotowych osuwiskach, opracowanie technologii wyznaczania ich współrzędnych oraz prowadzenie monitoringu w pierwszych trzech seriach pomiarowych (Tab. 5).

Lp.	Lokalizacja osuwiska	Powierzchnia	Przyczyna powstania	Liczba punktów zastabilizowanych przez habilitantkę
1	Miękinia (gmina Krzeszowice, powiat krakowski)	0,28 ha	naturalna (infiltracja wód opadowych)	12
2	Czerna (gmina Krzeszowice, powiat krakowski)	0,45 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych, sztuczna – zmiany morfologii stoku	12
3	Pietrzejowice (gmina Kocmyrzów- Luborzyca, powiat krakowski)	4,05 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych	18
4	Sulechów (gmina Kocmyrzów- Luborzyca, powiat krakowski)	13,39 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych, antropogeniczna – zmiany morfologii stoku	28
5	Prusy (gmina Kocmyrzów- Luborzyca, powiat krakowski)	3,93 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych, antropogeniczna – nadmierne obciążenie stoku	18
6	Skawina (powiat krakowski)	1,97 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych, antropogeniczna – obciążenie nasypem	12
7	Ochojno (gmina Świątniki Górne, powiat krakowski)	15,04 ha	naturalna – infiltracja wód opadowych, antropogeniczna – obciążenie nasypem.	28
8	Radziszów- Wytrzyszczek (gmina Skawina, powiat krakowski)	95,17 ha	naturalna – nieznana	28
9	Radziszów (gmina Skawina, powiat krakowski)	0,92 ha	naturalna — infiltracja wód opadowych	12

Tab. 5. Monitorowane osuwiska zlokalizowane na terenie powiatu krakowskiego.

Bazując na różnych metodach konstrukcji sieci pomiarowych, stabilizowanych na potrzeby monitoringu powierzchniowego ruchów masowych, opisanych w pracy (Maciaszek et al., 2015), habilitantka po przeprowadzeniu wywiadu terenowego zaprojektowała sieć punktów na każdym z dziewięciu osuwisk, a następnie dokonała wspólnie z zespołem stabilizacji punktów w uzgodnieniu z właścicielami gruntów. Łącznie na wszystkich osuwiskach zastabilizowano 168 półmetrowych punktów wbijanych w grunt rodzimy, otoczonych osłoną z tworzywa sztucznego.

Każde z wytypowanych dziewięciu osuwisk stwarzało potencjalne zagrożenie dla istniejącej infrastruktury, w tym dla obiektów użyteczności publicznej (dom dziecka w Miękini, dom pomocy społecznej w Czernej, szpital rehabilitacyjny dla dzieci w Radziszowie), kilka osuwisk spowodowało uszkodzenie budynków w stopniu uniemożliwiającym ich dalsze użytkowanie, nakazano ich rozbiórkę i wypłacono odszkodowania (w Pietrzejowicach i Prusach), kilka osuwisk powodowało poważne zagrożenia dla ludzi zamieszkujących budynki zlokalizowane na osuwisku (w Sulechowie, Skawinie, Radziszowie–Wytrzyszczek), a jedno osuwisko stanowiło zagrożenie dla stateczności drogi powiatowej (nr 2167K w Ochojnie).

Ze względu na utylitarny charakter prowadzonych prac, związanych z jednoczesnym monitoringiem terenów zagrożonych o łącznej powierzchni 131 ha usytuowanych w ośmiu różnych miejscowościach, zastosowana technologia musiała być ukierunkowana na pozyskanie danych i ich interpretację w możliwie najkrótszym czasie, z wystarczającą dla tego celu dokładnością i przy jak najniższych nakładach finansowych na ten cel. Ostatecznie, po przedstawieniu przez habilitantkę kilku wariantów technologii pomiaru i możliwej do uzyskania dokładności wyznaczenia współrzędnych, zleceniodawca wybrał do stosowania technologię RTN dla wszystkich punktów w terenie z odsłoniętym horyzontem oraz technologię pomiarów kątowo-liniowych dla punktów zlokalizowanych w terenie pokrytym wysoką roślinnością. Pomiary realizowano dwa razy w roku (w serii wiosennej oraz jesiennej), zgodnie z wymaganiami prawnymi (Graszka et al., 2011) i przy aktywnym udziale habilitantki w wykonanie pomiarów na każdym z osuwisk.

Interpretacja wyników wykonana została w całości przez habilitantkę. Na podstawie uzyskanych wartości współrzędnych punktów kontrolowanych (zestawianych w formie tabelarycznej), przyjmując podwójną wartość błędu średniego wyznaczenia współrzędnych, oceniano istotność statystyczną każdej z wyznaczonych wartości przemieszczenia poziomego (i pionowego). Dla wartości istotnych statystycznie obliczono azymuty wektorów przemieszczeń poziomych uzyskanych w przyjęty czasie i przedstawiono je graficznie na tle zwektoryzowanej mapy zasadniczej (przykład osuwiska w Sulechowie – Rys.18) (Szafarczyk, 2017; Szafarczyk et al., 2015).



Rys. 18. Wektory istotnych wartości przemieszczeń punktów kontrolowanych w skali 200:1 na tle mapy zasadniczej osuwiska w Sulechowie a)w okresie 2014r.-2015r.b) w okresie 2015r.-2017r. (Szafarczyk, 2017).

Obliczone wartości przemieszczeń przedstawiano w funkcji czasu (przykład osuwiska w Sulechowie – Rys. 19), osobno dla każdego z punktów, co pozwalało na analizę aktywności każdego z osuwisk i określenie fazy procesu. Dla ponad 90% liczby punktów obserwowano zmniejszenie wartości prędkości przemieszczeń poziomych, co świadczy o wygasaniu procesu w badanym okresie (Szafarczyk, 2017), skutkując w przyszłości całkowitym jego wygaszeniem lub ponownym jego uruchomieniem wywołanym wystąpieniem czynników aktywizujących (Terzaghi, 1950).



Rys. 19. Wartości przemieszczeń punktów kontrolowanych zastabilizowanych na osuwisku w Sulechowie w funkcji czasu (przemieszczenia istotne – ciągła linia, przemieszczenia nieistotne – przerywana linia).

Na osuwisku w Sulechowie, podczas porównania morfologii terenu udokumentowanej na mapie zasadniczej oraz morfologii terenu wyznaczonej na podstawie zrealizowanych dodatkowych pomiarów RTN, stwierdzono, iż bezpośrednio nad obecną skarpą główną osuwiska, na działce nr 186, w celu jej wyrównania zdeponowane zostały spore ilości mas ziemnych (niemożliwe do oszacowania), powodując zmianę wysokości terenu o ponad 2 metry, co przyczynia się do zaburzenia pierwotnego rozkładu naprężeń i stanu równowagi przedmiotowego zbocza. Naturalna przyczyna powstania osuwiska (infiltracja wód opadowych) wykazana w karcie rejestracyjnej nie jest zatem jedyną przyczyną powstania ruchów masowych w tym rejonie. W przypadku tego osuwiska leży ona w głównej mierze w działalności człowieka. Analizując ukształtowanie terenu w trzech momentach czasowych, to jest w stanie pierwotnym, stanie zmodyfikowanym antropogenicznie oraz stanie po wystąpieniu osuwiska, stwierdzono, iż (Szafarczyk, 2017) nachylenie terenu (zbocza osuwiska) po wystąpieniu ruchów masowych i ich ustabilizowaniu zbocza przyjęło wartość zgodną z pierwotnym nachyleniem zbocza (sprzed zmiany morfologii spowodowanej działalnością człowieka). Oznacza to, iż natura spowodowała przywrócenie stanu pierwotnie występującego (wartość kąta nachylenia zbocza w stanie po ustabilizowaniu się osuwiska odpowiada wartości kąta nachylenia stoku sprzed antropogenicznych zmian morfologii).

Ruch mas ziemnych spowodował występowanie deformacji powierzchni terenu, wpływając również na zmianę geometrii dwóch zamieszkałych budynków (nr 33 i nr 18 w Sulechowie – Rys. 20).



Rys. 20. Pochylone budynki nr 33 (na pierwszym planie) i nr 18 (na drugim planie) zlokalizowane na terenie osuwiska w Sulechowie.

Wartość tego wychylenia wyznaczono z wykorzystaniem technologii geodezyjnych, metodą rzutowania. W wyniku pomiaru uzyskano wypadkowe wektory wychyleń dla trzech krawędzi budynku nr 33 oraz składowe wychylenia trzech krawędzi budynku nr 18 na wybranym, możliwym do pomiaru kierunku (w płaszczyźnie zgodnej z usytuowaniem wschodniej i zachodniej ściany fundamentowej). Dla budynku nr 33 wychylenia wypadkowe krawędzi mają kierunek południowo-zachodni, zgodny z kierunkiem ruchu przemieszczających się mas ziemnych, lecz o zwrocie przeciwnym do przemieszczających się mas. Wartości wektorów wychylenia dla poszczególnych krawędzi wynoszą odpowiednio: 24.8 cm, 25.7 cm, 18.6 cm, co stanowi średnio 3.3 cm na 1 metr bieżący wysokości budynku. Dla dwóch równoległych

do siebie ścian fundamentowych budynku nr 18 zwroty oraz wartości wektorów wychylenia wyznaczonych w płaszczyźnie tych ścian są zgodne ze sobą w granicach od 2.8 cm na metr bieżący do 3.9 cm na metr bieżący wysokości budynku.

Przedstawione budynki są bardzo rzadkimi przykładami obiektów, które nie uległy całkowitemu zniszczeniu (katastrofie budowlanej), mimo iż znajdują się na aktywnej części osuwiska. To jedyne dwa budynki mieszkalne na terenie wszystkich monitorowanych osuwisk, których geometria uległa mierzalnej, znaczącej zmianie w stosunku do stanu pierwotnego, a budynki są nadal zamieszkałe. Ze względu jednak na tak małą próbkę, ogólne wnioski co do korelacji pomiędzy deformacjami gruntu, a deformacjami budynku nie mogą być formułowane. W badanych przypadkach nie zaobserwowano związku pomiędzy wartością wychylenia obiektu, a wartością zmiany pochylenia terenu, jak również nie stwierdzono związku pomiędzy wartością azymutu wypadkowego wektora wychylenia, a wartością azymutu linii największego spadku terenu.

Doświadczenia zdobyte przez habilitantkę podczas prowadzonych dodatkowych, własnych pomiarów terenowych osuwisk powiatu krakowskiego, interpretacji wyników tych pomiarów oraz wywiadu z mieszkańcami pozwoliły na sformułowanie pewnych dodatkowych wniosków naukowych oraz uwag o charakterze praktycznym, które zdaniem habilitantki wskazują na pewne niedoskonałości istniejącego stanu prawnego i procedur realizowanych w stosunku do mieszkańców i obiektów zagrożonych skutkami ruchów masowych.

Karty dokumentacyjne osuwisk tworzone są przez geologów i kartografów geologicznych na podstawie wizji terenowej i bazują na tak zwanych systemach eksperckich (doświadczeniu). Dane graficzne są gromadzone w formie mapy terenów zagrożonych występowaniem ruchów masowych ziemi, sporządzonej w systemie informacji przestrzennej (GIS), wykonanej na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000. Na mapie tej w formie symboli graficznych określonych w stosownej instrukcji (Grabowski et al., 2008) przedstawia się granice osuwiska, elementy rzeźby wewnątrzosuwiskowej, stopień aktywności osuwiska oraz przejawy występowania wód podziemnych i przypowierzchniowych. Określenie granic zewidencjonowanego osuwiska jest wynikiem wizualnej oceny sytuacji terenowej i odwzorowania zasięgu osuwiska na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:10 000. Jest to zadanie trudne, generujące zdaniem habilitantki spore nieścisłości w przebiegu granic osuwiska. Zdaniem habilitantki granice osuwisk, w przypadku objęcia go monitoringiem geodezyjnym, powinny być weryfikowane w oparciu o wykonane pomiary geodezyjne (obecnie nie ma takiego zwyczaju).

Uaktywnienie się osuwiska w stopniu powodującym uszkodzenia obiektów budowlanych na nim usytuowanych wymaga określenia przydatności tych obiektów do dalszego zamieszkania. Zagadnienia te są realizowane przez specjalistów z zakresu budownictwa. Na terenach górniczych tego rodzaju procedury (zgłaszanie szkód górniczych i wypłata odszkodowań lub finansowanie naprawy) są zwyczajowo określone i stosowane, natomiast w przypadku szkód powstałych w obiektach budowlanych, powstałych na skutek ruchów masowych, stosowane procedury sprawiają wrażenie niejednorodności (lub wręcz ich braku) i trudno jest postawić granicę pomiędzy stanem obiektu nadającym się i nie nadającym się do dalszego użytkowania. Zdaniem habilitantki poza występującymi deformacjami nieciągłymi obiektów budowlanych w formie rys, pęknięć i widocznych makroskopowo uszkodzeń budynku, powinny być określone wartości liczbowe deformacji ciągłych objawiających się zwłaszcza w formie nierównomiernych obniżeń powierzchni terenu (powodujących wychylenia obiektu od pionu), powyżej których należy uznawać budynek za nieprzydatny do użytkowania. Obecnie zdarzają się przypadki, w których na skutek uaktywnienia się osuwiska budynek mieszkalny na nim usytuowany wychylił się od pionu o wartość 3.3 cm/m (osuwisko w Sulechowie, budynek nr 33) i jest nadal zamieszkiwany.

Zdaniem habilitantki prowadzony monitoring geodezyjny aktywnych osuwisk służyć powinien nie tylko wypełnieniu zadań ustawowych, lecz także stanowić podstawę dla działań specjalistów z zakresu budownictwa i planowania przestrzennego. W szczególności inspektor nadzoru budowlanego powinien podejmować decyzje odnośnie dopuszczenia budynku do dalszego użytkowania również z uwzględnieniem wyników pomiarów geodezyjnych.

W rejonie zbiornika Świnna Poręba na rzece Skawie (Polska) udokumentowano istnienie 26 osuwisk, które w momencie napełnienia zbiornika i ustalenia normalnego poziomu piętrzenia wody (305.5 m n.p.m.) zostały całkowicie lub częściowo zalane. Grunty pozostające pierwotnie jedynie pod działaniem wód opadowych zostały silnie zawodnione, co zmieniło ich parametry i spowodowało znaczne osłabienie stateczności zboczy tejże doliny. Ze względu na fakt, iż woda jest podstawowym czynnikiem aktywującym ruchy masowe, dno doliny i jego zbocza zostały poddane szeregu badań o charakterze geologicznoinżynierskim oraz monitoringowym, mającym na celu zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonującej zapory oraz mieszkańców okolicznych miejscowości. W ramach porozumienia o współpracy naukowej i dydaktycznej zawartego pomiędzy Regionalnym Zarządem Gospodarki Wodnej w Krakowie, a AGH, którego habilitantka jest przedstawicielem, wykonane zostały prace naukowe mające na celu wsparcie RZGW w realizacji działań na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa rejonu zbiornika Świnna Poręba i pośrednio samej zapory. W ramach przeprowadzonych prac wykonana została analiza istniejącej dokumentacji geologicznej (Szafarczyk, 2018), wytypowane zostały osuwiska, które dostępne są do pomiaru (nie zostały zalane na skutek napełniania sztucznego zbiornika) i stwarzają zagrożenie dla istniejącej infrastruktury, a następnie objęto szczegółowym monitoringiem jedno z nich (osuwisko Ostałowa), które mimo prawomocnego pozwolenia na budowę nie zostało dotychczas zabezpieczone, a ze względu na sieć reperów zlokalizowanych na jego terenie stwarza możliwość kontynuowania monitoringu prowadzonego jeszcze przed nawodnieniem gruntów (przed osiągnięciem normalnego poziomu piętrzenia).

Osiągnięte wyniki:

 opracowanie metodyki prowadzenia monitoringu powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem niestosowanej wcześniej w Polsce technologii naziemnej interferometrii radarowej GBInSAR wraz z wykonaniem pomiarów testowych wykorzystywanego radaru oraz określeniem czynników mających wpływ na jakość wykonywanych zobrazowań wraz ze wskazaniem metod ich weryfikacji;

- wypracowanie metodyki wykonywania korekty atmosferycznej obrazów SAR pozyskiwanych z pułapu ziemi wraz z zaprojektowaniem konstrukcji reflektora radarowego o formie i konstrukcji dedykowanej technologii GBInSAR;
- opracowanie metodyki pomiaru i analizy lokalnego, zdyskretyzowanego pola odkształceń z wykorzystaniem powierzchniowego tensora odkształcenia;
- określenie kinematyki procesu deformacji powierzchni aktywnego osuwiska obserwowanego w trybie quasi-ciągłym wraz z określeniem tak zwanej krytycznej wartości deformacji;
- opracowanie metody prowadzenia zintegrowanego monitoringu powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem technologii geodezyjnych z uwzględnieniem rozpoznania geologiczno-inżynierskiego rejonu badań;
- sformułowanie wytycznych dotyczących prowadzenia obserwacji z usystematyzowaniem w zakresie stosowanych technologii pomiarowych – w aspekcie kontroli stateczności zboczy osuwiskowych.

Reasumując, przedstawiony cykl publikacji prezentuje szereg autorskich rozwiązań technologicznych i aplikacyjnych w zakresie monitoringu powierzchniowych ruchów masowych mających znaczenie w procesie zarządzania ryzykiem osuwiskowym, jak również ustaleniu kinematyki zjawiska, co ma spore znaczenie praktyczne.

<u>Bibliografia</u>

1. Abellán A., Jaboyedoff M., Oppikofer T., Vilaplana J.M. (2009) Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event. Nat Hazards Earth Syst Sci 9, s.365-372.

2. Antonello G., Fortuny-Guasch J., Tarchi D., Casagli N., Del Ventisette C., Guerri L., Luzi G., Mugnai F., Leva D. (2008) Microwave interferometric sensors as a tool for space and time analysis of active volcano deformations: The Stromboli case. In: Second workshop on use of remote sensing techniques for monitoring volcanoes and seismogenic areas, 11-14 November 2008, USEReST 2008, s. 1-6.

3. Baumgartner F., Jezek K., Forster R.R. GGogeineni S.P., Zabel I.H.H. (1999) Spectra and Angular Grodnu-Based Radar Backscatter Measurements of Greenland Snow faciem. Proceedings of Geoscience and Remote Sensing Sympodium IGARSS'99, vol. 2, s. 1052-1055.

4. Barber I. S. (2002), Elasticity. Kluwer, Dordrecht.

5. Barla M., Antolini F. (2012) Integrazione tra monitoraggio e modellazione delle grandi frane in roccia nell'ottica dell'allertamento rapido. In: Barla G, Barla M, Ferrero A, Rotonda T (eds) Nuovi metodi di indagine e modellazione degli ammassi rocciosi. Celid, Torino, s. 211-229

6. Bartłomiejczyk C., Chałupka R., Czarnecki L. (2005) Udostępnienie poziomu -50 m n.p.m. w wyrobisku górniczym Kopalni "Bełchatów". Węgiel Brunatny nr 59.

7. Bober L. (1984) Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. Biuletyn Instytutu Geologicznego 340, s. 115-158.

8. Borgeaud M., Noll J., Bellini A. (1994) Multi-temporal comparisons of ERS-1 and JERS-1 SAR data for land applications. In: Geoscience and remote sensing symposium, IGARSS '94, vol 3, s. 1603-1605.

9. Bozzano F., Cipriani I., Mazzanti P., Prestininzi A. (2011) Displacement patterns of a landslide affected by human activities: insights from ground-based InSAR monitoring. Nat Hazards 59(3), s. 1377-1396.

10. Czarnecki L., Jończyk W., Organiściak B., Wysokiński L. (2007) Zagrożenia geotechniczne w wyrobisku górniczym kopalni Bełchatów. Sesja jubileuszowa z okazji 70-lecia urodzin prof. Dr. Hab. inż. Lecha Wysokińskiego, Warszawa-Bełchatów, 30 maja-1 czerwca 2007. Instytut Techniki budowlanej. Warszawa. S. 5-8.

11. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. (2011) IBIS-M, an innovative radar for monitoring slopes in open-pit mines. In: Slope stability 2011: international symposium on rock slope stability in open pit mining and civil engineering, Vancouver, 18-21 September 2011

12. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Coli N., Thompson C. (2012) Monitoring engineered and natural slopes by ground-based radar: methodology, data processing and case studies review. In: Southern hemisphere international rock mechanics symposium SHIRMS 2012, Sun City, 15-17 May 2012

13. Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z. (2008) Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Warszawa. Państwowy Instytut Geologiczny.

14. Graniczny M. (2003) Zagrożenia naturalne. Information newsletter. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

15. Graszka W., Wajda S., Oruba A., Ryczywolski M. (2011) Zalecenia Techniczne. Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

16. Hangberg J.O., Ulander L.M.H. (1995) Calibration of interferometric SAR images. EAEReL Advances In Remote Sensing, vol. 4 (2), s. 49-54.

17. Hejmanowski R. (2005) Optimization of determining horizontal surface deformations for the protection of buildings in mining areas. Report of Research Project 5T 12E 04124, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków (in Polish).

18. Hjelmstad K.D. (2005) Fundamentals of structural mechanics. Springer. Berlin.

19. IBIS-L Controller Software. User Manual (2008) IDS Ingegneria dei Sistemi, Pisa.

20. Janusz W. (2005) Metoda obliczania pionowych przemieszczeń i deformacji fundamentu budowli z identyfikacją i uwzględnieniem symptomów jego nieciągłości. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. Tom Ll, zeszyt 109.

21. Kaczmarczyk R., Olszak J. (2014) Inwentaryzacja i monitoring wybranych osuwisk powiatu krakowskiego. Opracowanie niepublikowane.

22. Kontny, B., Grzempowski, P., Aleksandrowski, P., Schenk, V. and Schenková, Z. (2014) Horizontal deformation of the Earth's crust in the area of Sudeten and its northern foreland (SW Poland) based on GPS data from the period 1997-2012. In: 15th Czech-Polish Workshop "On Recent Geodynamics of the Sudeten and Adjacent Areas", Karlov pod Pradědem, Czech Republic, November 5-8.

23. Kwinta A. (2012) Prediction of strain in a shaft caused by underground mining. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 55, s. 28-32.

24. Lebedev L.P., Cloud M.J. and Eremeyev V.A. (2010) Tensor analysis with applications in mechanics. World Scientific, Singapore.

25. Lingua A., Piatti D., Rinaudo F. (2008) Remote monitoring of a landslide using an integration of GB-InSAR and LIDAR techniques. In: The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, vol XXXVII. Part B1, Beijing.

26. Maciaszek J., Gawałkiewicz R., Szafarczyk A. (2015) Geodezyjne metody badania osuwisk. Wydawnictwa AGH.

27. Monserrat O., Crosetto M. (2008) Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching. ISPRS J Photogramm Remote Sens 63, s. 142-154

28. Mróz M. (1998) Metody kalibracji radiometrycznej oraz wstępnego przetwarzania obrazów radarowych SAR systemów ERS-1/2 oraz RDARSAT. Fotointerpretacja w geografii. Problemy telegeoinformacji, vol. 26, s. 39-46.

29. Pielok J., Szafarczyk A. (2004) Geodetic measurements of surface deformations with the use of tensometry methods. Das Markscheidewesen, 111, nr 3, s. 98-103.

30. Pieraccini M., Casagli N., Luzi G., Tarchi D., Mecatti D., Noferini L., Atzeni C. (2003) Landslide monitoring by ground-based radar interferometry: a field test in Valdarno (Italy). Int J Remote Sens 24(6), s. 1385-1391.

31. Pieraccini M., Tarchi D., Rudolf H., Leva D., Luzi G., Atzeni C. (2000a) Interferometric radar for remote monitoring of building deformations. Electron Lett 36(6), s. 569-570

32. Pieraccini M., Tarchi D., Rudolf H., Leva D., Luzi G., Bartoli G., Atzeni C. (2000b) Structural static testing by interferometric synthetic radar. NDT&E Int 33(8), s. 565-570

33. Popiołek E., Pilecki Z. (2005) Ocena przydatności do zabudowy terenów zagrożonych deformacjami nieciągłymi za pomocą metod geofizycznych. Wydawnictwo IGSMiE PAN. Kraków.

34. Poprawa D., Rączkowski W. (2003) Osuwiska Karpat. Przegląd Geologiczny. Vol. 51, nr 8.

35. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi. Dz.U. 2007 nr 121 poz. 840.

36. Rybicki S., Margielewski W., Domagała A. (1998) Osuwisko na stoku góry Palenica w Szczawnicy (pieniński pas skałkowy) i jego związek z ekstremalnymi opadami w lipcu 1997 r. Przegląd Geologiczny. Vol. 46 (11): 1162-1170.

37. Rybicki S., Czarnecki L., Organiściak B. (2000) Zagrożenia geotechniczne w KWB "Bełchatów", ich uwarunkowania, możliwości prognozy oraz zapobiegania. Materiały Sympozjum "25 lat doświadczeń KWB Bełchatów". Bełchatów 17-18 stycznia 2000. SITG KWB "Bełchatów", s. 19-26.

38. Sokolnikoff I.S. (1946) Mathematical theory of elasticy. Mc Graw-Hill, New York.

39. Srivastava S.K., Lukowski T.I., Gray R.B., Shepherd N.W., Hawkins R.K. (1996) RADARSAT: image quality management and performance results. In: Canadian conference on electrical and computer engineering, vol 1, s 21-23.

40. Szafarczyk A. (2013) Determination of horizontal deformations of the mining area using geodetic rosettes. Wydawnictwa AGH, (in Polish).

41. Szafarczyk A. (2017) The review of observer-controlled factors ensuring the quality of radarometric images taken in GBInSAR technology and the methods of their verification. Geoinformatica Polonica. vol. 16, s. 139-148.

42. Szafarczyk A. (2016) The accuracy of strain tensor determined in the landslide areas. Geoinformatica Polonica. vol. 15, s. 37-46.

43. Szafarczyk A., Gawałkiewicz R. (2016) Case study of the tensor analysis of ground deformations evaluated from geodetic measurements in a landslide area. Acta Geodynamica et Geomaterialia. vol. 13 no. 2, s. 213-222.

44. Szafarczyk A. (2013) Możliwości zastosowania naziemnej interferometrii radarowej w górnictwie In: Geomatyka górnicza : praktyczne zastosowania : monografia : praca zbiorowa / pod red. Artura Dyczko i Artura Krawczyka ; Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Katedra Górnictwa Podziemnego. Akademia Górniczo-Hutnicza, Komisja Geomatyki Górniczej Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej. — Kraków : Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, s. 67-80.

45. Szafarczyk A., Rybicki S., Woźniak H., Lenda G., Kaczmarczyk R., Ligas M., Krokoszyński P., Gawałkiewicz R., Tchórzewska S., Szymanowski R. (2013) Badania kinematyki powierzchniowych ruchów masowych z wykorzystaniem naziemnej interferometrii radarowej : monografia/ pod red. nauk. Anny SZAFARCZYK i Stanisława RYBICKIEGO. — Kraków : Wydawnictwa AGH.

46. Szafarczyk A. (2012) Możliwości wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej w monitoringu osuwisk. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. nr 2/II, s. 29-38.

47. Szafarczyk A. (2018) Stages of geological documentation on the example of landslides located on the slopes of the dam reservoir "Świnna Poręba" (Poland). WMESS 2018: World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium : 03-07 September 2018, Prague, Czech Republic.

48. Szafarczyk A. (2018) Geodetic monitoring as an element of the obligatory landslide registery in Poland on the example of chosen active landslide. SGEM 2018: 18th international multidisciplinary scientific geoconference: 2 July -8 July, 2018, Albena, Bulgaria: conference proceedings. Vol. 18, Geoinformatics, geodesy and mine surveying. lss. 2.2, Informatics, geoinformatics and remote sensing, s. 797-804.

49. Szafarczyk A. (2017) Using corner reflectors as ground control points in ground based SAR interferometry. SGEM 2017 : 17th international multidisciplinary scientific geoconference: informatics, geoinformatics and remote sensing : 29 June-5 July, 2017, Albena, Bulgaria: conference proceedings. Vol. 17 iss. 22, Geodesy and mine surveying, s. 749-756.

50. Tarchi D., Rudolf H., Pieraccini M., Atzeni C. (2000) Remote monitoring of buildings using a ground-based SAR: application to cultural heritage survey. Int J Remote Sens 21(18), s. 3545-3551.

51. Tarchi D., Casagli N., Fanti R., Leva D., Luzi G., Pasuto A., Pieraccini M., Silvano S. (2003) Landslide monitoring by using ground-based SAR interferometry: an example of application to the Tessina landslide in Italy. Eng Geol 68, s. 15-30.

52. Terzaghi K. (1950) Mechanism of landslides. Harvard University. Department of Engineering.

53. USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627.

54. USTAWA z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej. tj. Dz.U. 2017 poz. 1897.

55. Wolski B. (2001) Pomiary geodezyjne w geotechnice. Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Kraków.

56. Volakis J.L. (2007) Antena Engineering Handbook. Reflector Antennas. USA, s. 15-40.

57. Zavodni Z.M. (2000) Time dependent movements of open-pit slopes. In: Hustrulid W.A., McCarter M.K., van Zyl D.J.A. (eds): Slopes Stability in Surfes Mining. Society for Miting, Metallurgy and Exploration. Litlleton, Colorado, s. 81-88.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Pozostałe kierunki zainteresowań badawczych habilitantki związane są z następującymi zagadnieniami:

• testowanie przyrządów giroskopowych i analiza wykonanych pomiarów giroazymutów w wyrobiskach kopalń podziemnych w celu poprawy parametrów dokładnościowych podziemnej osnowy sytuacyjnej zakładu górniczego

W zakresie powyższej tematyki habilitantka opublikowała 7 prac (w tym 3 przed doktoratem):

- 1. Szafarczyk A., Szafarczyk M., Pielok J.: Giromat 2000 : szybki i dokładny pomiar azymutu. Geodeta : magazyn geoinformacyjny. ISSN 1234-5202. 2003 nr 1, s. 48-49.
- Szafarczyk A., Szymczyk M.: Wykorzystanie Giromatu 2000 w przeliczeniach między układami współrzędnych na Górnym Śląsku. Geodezja: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. ISSN 1234-6608. 2003 t. 9 z. 2/1, s. 521-528.
- Szafarczyk A., Szymczyk M.: Praktyczne aspekty wyznaczania giroazymutu przyrządem GYROMAT 2000. W: Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zagospodarowanymi : VIII dni miernictwa górniczego i ochrony terenów górniczych: Ustroń, 15-17 czerwca 2005 r.: praca zbiorowa / pod red. Jerzego Kwiatka ; Główny Instytut Górnictwa. — Katowice : GIG, 2005, s. 525-530.
- 4. Borowiec W., Szafarczyk A.: Technologia pomiarów giroskopowych w rozwiązywaniu problemów górnictwa i budownictwa podziemnego. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. ISSN 1643-7608. 2011 nr 2/1, s. 66-74.
- Pielok J., Gawałkiewicz R., Jaśkowski W., Jura J., Lipecki T., Skulich M., Szafarczyk A.: Geodezja górnicza. Monografia pod red. J. Pieloka. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011. ISBN: 978-83-7464-354-2. 418 s.
- 6. Szafarczyk A., Młynarczyk J., Markiewicz Ł., Gawałkiewicz R.: Design, measurement and analysis of gyro-azimuths influence on the results of aligning the underground control network. Geoinformatica Polonica. ISSN 1642-2511. 2017 vol. 16, s. 77-86.
- Szafarczyk A., Gawałkiewicz R.: The possibilities of the application of gyroscope instruments in the assessment of the rock mass stability. W: SGEM 2018 : 18th international multidisciplinary scientific geoconference : 2 July - 8 July, 2018, Albena, Bulgaria : conference proceedings. Vol. 18, Geoinformatics, geodesy and mine surveying. Iss. 2.2, Informatics, geoinformatics and remote sensing. ISBN: 978-619-7408-40-9. — S. 1059-1066.

W artykule (Szafarczyk, Szafarczyk, Pielok, 2003) zaprezentowano wyniki badań testowych jedynego w Polsce egzemplarza giroteodolitu Gyromat 2000. Pomiary testowe realizowane były w warunkach laboratoryjnych oraz w otwartym terenie. Określono wówczas dokładność wyznaczenia pojedynczej wartości azymutu na ±14cc.

Metodyka zakładania bazy kontrolnej dla potrzeb weryfikacji wskazań giroteodolitu została przedstawiona w pracy (Borowiec, Szafarczyk, 2011). Na bazie kontrolnej określana jest

wartość stałej przyrządu, która uwzględniana jest w wyznaczanej wartości azymutu topograficznego. W pracy przeanalizowano wyniki pomiarów kontrolnych zrealizowanych na wspomnianej bazie w pierwszych ośmiu latach jej funkcjonowania.

W pracy (Szafarczyk, Szymczyk, 2003) przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych na boku bazowym "Sucha Góra" giroteodolitem Gyromat 2000 oraz za pomocą GPS. Wyznaczone z pomiaru GPS azymuty topograficzne w różnych układach współrzędnych stosowanych na terenie Górnego Śląska, po przeliczeniu ich na azymut geodezyjny porównano z azymutem wyznaczanym Gyromatem 2000.

Praktyczne aspekty wyznaczania giroazymutu przyrządem Gyromat 2000 (Szafarczyk, Szymczyk, 2005) zostały przedstawione na podstawie doświadczeń zgromadzonych podczas pomiarów wykonywanych w wyrobiskach kopalń podziemnych. Zwrócono uwagę na warunki fizyczne otoczenia, w którym wykonywany jest pomiar giroskopowy i określono dokładność wyznaczenia pojedynczego azymutu w warunkach kopalnianych.

W związku z wprowadzeniem układu współrzędnych 2000 w pracy (Szafarczyk, Młynarczyk, Markiewicz, Gawałkiewicz, 2017) podano zmodyfikowany algorytm wyznaczania wartości azymutu topograficznego, zmieniający sposób wyznaczania wartości azymutu topograficznego podawany w literaturze (Kowalczyk, 1965; Milewski, 1988; Pielok et al., 2011). Podano wzór na wyznaczenie poprawki ze względu na różnicę zbieżności południków w miejscu wykonywania pomiaru oraz w miejscu wyznaczenia poprawki topograficznej dla układu 2000 wraz z przykładowymi wartościami błędów, których należy się spodziewać, stosując dotychczasowe zależności. Dodatkowo na przykładzie wykonanych pomiarów giroazymutów na wybranych pięciu bokach przykładowej kopalnianej osnowy szczegółowej określono ich wpływ wyniki wyrównania osnowy.

W artykule (Szafarczyk, Gawałkiewicz, 2018) podjęto próbę wykorzystania pomiarów giroskopowych w celu oceny stałości punktów osnowy kopalnianej, a pośrednio oceny stabilności górotworu. Na podstawie wykonanych analiz wytypowano rejony, w których zaobserwowano największe zmiany pomiędzy wartościami azymutów topograficznych sprzed wprowadzenia giroazymutów do wyrównania i po nim, co może wskazywać na niestabilność górotworu w badanym rejonie.

Wyznaczanie wartości giroazymutów stanowi element prowadzonych pomiarów sytuacyjnych w podziemnym zakładzie górniczym. Teoretyczne podstawy tych pomiarów zostały opisane w podręczniku pod redakcją J. Pieloka (Pielok, Gawałkiewicz, Jaśkowski, Jura, Lipecki, Skulich, Szafarczyk, Szewczyk, 2011).

(Szafarczyk, 2003) jest Praca Szafarczyk, Pielok, pionierska, а doświadczenia z przeprowadzonych wtedy badań pomocne były w opracowaniu instrukcji obsługi przyrządu w języku polskim, która jest stosowana obecnie przez innych użytkowników. Bogate doświadczenie praktyczne i naukowe habilitantki w zakresie wykonywania pomiarów giroskopowych (ponad 100 wykonanych pomiarów azymutu giroskopowego) zaowocowały współpracą naukowo-badawczą z dwoma kopalniami (Rudna oraz Lubin KGHM S.A.), w ramach której habilitantka osobiście dokonuje pomiaru azymutu wybranych boków kopalnianej osnowy szczegółowej i analizuje je pod kątem włączenia wartości wyznaczonego azymutu topograficznego do wyrównania całej sieci.

• weryfikacja przydatności i wdrażanie nowoczesnych technik pomiarowych i analitycznych w opisie i monitoringu morfologii terenu i aluwiów rzecznych oraz w inwentaryzacji obiektów zlokalizowanych na terenach górniczych i przemysłowych

W zakresie powyższej tematyki habilitantka opublikowała 11 prac (w tym 2 przed doktoratem):

- 1. Malarz R., Szafarczyk A.: *Downstream reduction of gravel size in the Carpathian rivers*. Geomorphologia Slovaca. ISSN 1335-9541. 2003 Roč. 3 č. 1 s. 55-56.
- Pielok J., Szafarczyk A.: Determining deformation of a wall of a residential building, located in the influence area of mining exploitations on the basis of geodetic rosettes measurement. W: 9. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie : 8. und 9. Mai 2008, Freiberg / Hrsg. I. Niemeyer, A. Sroka ; Technische Universität Bergakademie Freiberg. ISBN: 978-3-86797-018-1, s. 127-135.
- 3. Jaśkowski W., Jóźwik M., Szafarczyk A.: *Quasi-ciągły pomiar stanu odkształcenia ściany budynku przepompowni i jej bezpośredniego otoczenia*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. ISSN 2083-2214. 2009 vol. 19, s. 143-154.
- Kuras P., Owerko T., Szafarczyk A.: Applicability of ground-based microwave interferometer on the example of an industrial chimney located on the mining area. W: 11. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie: am 6. und 7. Mai 2010 in Freiberg / Hrsg. A. Sroka. — Essen : VGE Verlag GmbH, cop. 2010. — ISBN: 978-3-86797-099-0. — S. 249-258.
- Świąkała P., Kuras P., Szafarczyk A.: Porównanie systemów do monitorowania wychyleń obiektów wysokich na przykładzie wieży szybowej w ZG "Piekary". Monografia naukowa pod red. J.Drzymały i W. Ciężkowskiego pt.: Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010. ISBN: 978-83-7493-518-0. S. 7-17.
- 6. Szafarczyk A., Kwartnik-Pruc A.: *The concept of an integrated monitoring system for surface mass dislocations using terrestrial radar interferometry.* Geomatics and Environmental Engineering. ISSN 1898-1135. 2010 vol. 4 no. 1/1, s. 137-143.
- 7. Gawałkiewicz R., Szafarczyk A.: *The application of GPS technology in the inventory of repositories and waste heaps.* Reports on Geodesy. ISSN 0867-3179. 2011 no. 1, s. 131-139.
- Gawałkiewicz R., Skulich M., Szafarczyk A: Wykorzystanie nowoczesnych technologii geodezyjnych w procesie kontroli pionowości obiektów wysmukłych na przykładzie kominów przemysłowych. Geomatyka i Inżynieria : kwartalnik naukowy Państwowej Wyższej Szkoły Techniczno-Ekonomicznej w Jarosławiu. ISSN 2082-2952. 2011 nr 2, s. 5-23.
- Adamczyk T., Bieda A., Dąbrowski J., Dąbrowska T., Florek R., Grynishak M., Hanus P., Jasieńska E., Krzyżek R., Kwartnik-Pruc A., Preweda E., Skulich M., Szafarczyk A.: *Chosen issues of geodetic science*. Monografia naukowa pod red. J. Dąbrowskiego. The Bronislaw Markiewicz State School of Technology and Economics, Jarosław 2014. ISBN: 978-83-63909-52-9.

- Lenda G., Ligas M., Lewińska P., Szafarczyk A.: The use of surface interpolation methods for landslides monitoring. KSCE Journal of Civil Engineering. ISSN 1226-7988. 2016 vol. 20 iss. 1, s. 188-196.
- 11. Buczek M., Paszek M., Szafarczyk A.: Application of laser scanning for creating geological documentation. E3S Web of Conferences. ISSN 2267-1242. 2018, vol. 35 art. No. 04001, s. 1-8.

W obszarze nauk o ziemi, w zagadnieniach związanych z opisem morfologii powierzchni terenu (Lenda, Ligas, Lewińska, Szafarczyk, 2016), wykorzystane zostały różne metody interpolacyjne do określenia morfologii powierzchni osuwiska i jej zmian w czasie. Zastosowano metody krigingu, funkcji sklejanych oraz odwrotnej odległości wraz z oceną ich dokładności i wskazaniem optymalnej metody.

W artykule (Malarz, Szafarczyk, 2003) zaimplementowano nowe algorytmy obliczeniowe służące wyznaczeniu zmian rozmiaru żwirów rzecznych spowodowanych ich powodziową transformacją w kierunku zgodnym z nurtem rzeki.

Technologia skaningu laserowego została wykorzystana do inwentaryzacji granic pomiędzy warstwami geologicznymi występującymi w odsłoniętym profilu pionowym zbocza kopalni odkrywkowej. Dodatkowe pomiary testowe w kopalni doświadczalnej AGH potwierdziły możliwość wykorzystania tej technologii do tworzenia dokumentacji geologicznej (Buczek, Paszek, Szafarczyk, 2018).

Na przykładzie wybranego budynku mieszkalnego zlokalizowanego na terenie wpływów prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej przeanalizowano deformacje jego ścian nośnych i porównano ich wartości z prognozowanymi i zaobserwowanymi wartościami deformacji powierzchni terenu, na którym budynek był zlokalizowany. Pomiar realizowano z wykorzystaniem technologii precyzyjnych pomiarów kątowo-liniowych realizowanych z wykorzystaniem tachimetru TCA 2003 (Pielok, Szafarczyk, 2008).

Na przykładzie ściany fundamentowej budynku przemysłowego o II kategorii odporności przedstawiono sposób wyznaczenia czasowo-ekstremalnych wartości odkształceń poziomych wywołanych prowadzoną podziemną eksploatacja górniczą. Przeprowadzono quasi-ciągły pomiar odkształceń, w ramach którego zastosowano dwa systemy telemetryczne do wyznaczania odkształceń. Zamontowane układy pomiarowe zaprojektowano tak, aby możliwe było wyznaczenie ekstremalnych wartości odkształceń. Wyniki obliczeń i analiz przedstawiono pod kątem porównania wartości odkształceń uzyskanych w gruncie i na ścianie budynku (Jaśkowski, Jóźwik, Szafarczyk, 2009).

Na przykładzie komina przemysłowego o wysokości 220 metrów zlokalizowanego na terenie górniczym przedstawiono innowacyjny system monitoringu przemieszczeń bazujący na technologii interferometrii mikrofalowej. Wykorzystano do tego celu radar interferometryczny IBIS S. Zaprezentowano możliwości zastosowania tego urządzenia, jego dokładność i wyniki pomiaru drgań przedmiotowego komina, które zostały porównane z wynikami klasycznych pomiarów (Kuras, Owerko, Szafarczyk, 2010).

Dla innego komina przemysłowego zastosowano inwentaryzację jego osi z wykorzystaniem metody dwusiecznych kierunków stycznych oraz algorytm opisu deformacji (wychylenia) osi

komina na podstawie danych punktowych uzyskanych przy wykorzystaniu techniki skaningu laserowego (Gawałkiewicz, Skulich, Szafarczyk, 2011).

Dla wybranego składowiska węgla przeanalizowana została możliwość zastosowania alternatywnej technologii satelitarnej GPS-RTK w inwentaryzacji składowisk i zwałowisk, pod względem dokładnościowym wyznaczanej objętości (Gawałkiewicz, Szafarczyk, 2011).

Wymieniona wyżej technologia naziemnej interferometrii mikrofalowej została wykorzystana dla potrzeb określenia wartości wychyleń obiektu wysokiego, na przykładzie wieży szybowej. Wykonane obserwacje zostały porównane z wynikami uzyskanymi metodą detekcji wiązki laserowej (Ćwiąkała, Kuras, Szafarczyk, 2010).

Specyfika technologii naziemnej interferometrii radarowej sprawia, iż technologia ta jest wskazana do wykorzystania w obserwacjach dużych powierzchni terenu lub wielkokubaturowych obiektów, co opisano i zaproponowano do wdrożenia w ramach kompleksowego, zintegrowanego systemu monitoringu (Szafarczyk, Kwartnik-Pruc, 2010).

Badania wykorzystujące technologię naziemnej interferometrii radarowej w badaniach obiektów wysokich (wieże, kominy) były pionierskimi badaniami w Polsce i kontynuowane są przez innych Autorów.

• analiza przepisów prawnych i ich zastosowania w praktyce, na przykładzie wybranych zagadnień z zakresu ochrony gruntów rolnych i leśnych, planowania przestrzennego oraz aktualizacji ewidencji gruntów

W zakresie powyższej tematyki habilitantka opublikowała 4 prace:

- 1. Kwartnik-Pruc A., Szafarczyk A.: *Designating agricultural land for investment purposes and the requirements of environmental sustainability*. Polish Journal of Environmental Studies. ISSN 1230-1485. 2011 vol. 20 no. 4A, s. 212-216.
- 2. Kwartnik-Pruc A., Szafarczyk A., Trembecka A.: *Analysis of changes in procedure of designating agricultural and forest lands for investment purposes*. Geomatics and Environmental Engineering. ISSN 1898-1135. 2010 vol. 4 no. 1/1, s. 91-99.
- Szafarczyk M., Szafarczyk A.: Aktualizacja danych ewidencyjnych w zakresie gleboznawczej klasyfikacji gruntów. Wiadomości Górnicze. ISSN 0043-5120. 2014 R. 65 nr 12, s. 646-649.
- Szafarczyk A., Kwartnik-Pruc A.: Issues regarding taking landslide areas into account in spatial planning in Poland. W: FIG Working Week 2012 [Dokument elektroniczny]: knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage : Rome, Italy, 6-10 May 2012 : technical program and proceedings. e-ISBN: 97887-90907-98-3. s. 1-12.

W artykule (Kwartnik-Pruc, Szafarczyk, Trembecka, 2010) przedstawiono organy wydające zgodę na zmianę przeznaczenia gruntów w planie miejscowym, zmiany w zakresie rodzajów klasoużytków wymagających decyzji o wyłączeniu gruntów z produkcji rolnej lub leśnej oraz zmiany w zakresie kompetencji organów i możliwości zmniejszenia opłat za wyłączenie gruntów z produkcji rolnej i leśnej na przestrzeni wcześniejszych 15 lat w kontekście znowelizowanej pod koniec 2008 roku ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych.

Przeanalizowano (Kwartnik-Pruc, Szafarczyk, 2011) zmiany w strukturze gruntów na przestrzeni ostatnich 10 lat na przykładzie danych ewidencyjnych dotyczących terenu województwa małopolskiego. Obszar poddany analizie obejmuje 19 powiatów oraz 3 miasta na prawie powiatu. Spośród terenów położonych w obszarze przedmiotowego województwa wyselekcjonowano gminy miejskie i wiejskie, co pozwoliło na wychwycenie trendu zmian w strukturze gruntów wynikającego ze znowelizowanych przepisów ustawy.

W artykule (Szafarczyk, Szafarczyk, 2014) przedstawiono procedurę przeprowadzania aktualizacji gleboznawczej klasyfikacji gruntów na dwóch przykładach z terenów zakończonej eksploatacji górniczej.

Zagadnienia uwzględniania terenów osuwiskowych w planowaniu przestrzennym w Polsce omówiono w pracy (Szafarczyk, Kwartnik-Pruc, 2012).

• realizacja procedur testowych przyrządów pomiarowych oraz testowanie technik pomiarowych

W zakresie powyższej tematyki habilitantka opublikowała 5 prac (w tym 1 przed doktoratem):

- Gawałkiewicz R., Szafarczyk A.: Orientacja sytuacyjna danych w oparciu o wskazania kompasu elektronicznego Callidusa w inwentaryzacji trudno dostępnych pustek naturalnych i górniczych. Geodezja. Półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. ISSN 1234-6608. 2006 t. 12 z. 2/1, s. 197-208.
- Owerko T., Kuras P., Szafarczyk A.: Comparison of the effectiveness of automatic targeting, using systems of ATR type, with manual targeting, based on full test procedure ISO 17123-3. Geomatics and Environmental Engineering. ISSN 1898-1135. 2010 vol. 4 no. 1/1, s. 107-113.
- 3. Skulich M., Szafarczyk A.: *Optymalizacja metod pomiarowych w aspekcie projektowania pomiarów ekstremalnych odkształceń na terenach osuwiskowych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. ISSN 1732-5587. 2012 nr 2/II, s. 79-86.
- Szafarczyk A.: Możliwości zastosowania naziemnej interferometrii radarowej w górnictwie. W: Geomatyka górnicza: praktyczne zastosowania: monografia: praca zbiorowa / pod red. Artura Dyczko i Artura Krawczyka; Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 2013.
- 5. Szafarczyk A. 2016. *The accuracy of strain tensor determined in the landslide areas.* Geoinformatica Polonica. vol. 15, s. 37-46.

W artykule (Gawałkiewicz, Szafarczyk, 2006) przedstawiono wyniki badań nad możliwością adaptacji kompasu elektronicznego wbudowanego w skaner panoramiczny Callidus do orientacji sytuacyjnej "chmur punktów" pozyskiwanych na stanowisku w warunkach uniemożliwiających klasyczne nawiązanie instrumentu względem osnowy pomiarowej. Dzięki zastosowaniu giroteodolitu Gyromat 2000 możliwe było wyznaczenie rzeczywistej dokładności kompasu elektronicznego Callidusa.

Tematem artykułu (Owerko, Kuras, Szafarczyk, 2010) jest porównanie dokładności celowania realizowanego dwoma sposobami – manualnym i automatycznym. Badania przeprowadzono w oparciu o międzynarodową normę ISO 17123-3 dla dwóch teodolitów, wyposażonych

w system automatycznego rozpoznawania celu. W pracy omówiono procedurę pomiarową – pełną procedurę testową, która pozwala wyznaczać rzeczywiste dokładności badanych instrumentów.

W artykule (Skulich, Szafarczyk, 2012) przedstawiono opis i wyniki pomiarów mających na celu zoptymalizowanie technologii geodezyjnych obserwacji deformacji terenu z wykorzystaniem sieci punktów stabilizowanych w formie tak zwanych rozet pomiarowych. Pomiary wykonane zostały przy wykorzystaniu trzech tachimetrów elektronicznych (TCA 2003, TCR 303, TC 407) na badawczym polu testowym. Na podstawie wykonanych badań określono optymalny sposób i dobór sprzętu, który może zostać wykorzystany do wykonania obserwacji terenu podlegającego deformacjom (w tym terenów osuwiskowych).

W pracy (Szafarczyk, 2013) przedstawiono przykłady wykonanych pomiarów dynamicznych polegających na wyznaczeniu częstotliwości drgań własnych budowli, jak również drgań budowli poddanych ewentualnym wibracjom, a także wpływom wstrząsów z wykorzystaniem technologii naziemnej interferometrii radarowej. Wyniki zaprezentowano na przykładzie komina przemysłowego zlokalizowanego na terenie górniczym I kategorii oraz na przykładzie zastrzałowej wieży szybowej o konstrukcji stalowej. Wykonane pomiary pozwoliły na określenie wartości wychyleń będących efektem nie tylko obciążeń długotrwałych, lecz także krótkotrwałych i wyjątkowych, często spotykanych na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej.

W artykule (Szafarczyk, 2016) przedstawiono metodę i wyniki pomiaru deformacji fragmentów osuwiska. Zastabilizowano punkty geodezyjne w formie sieci pomiarowej zwanej prostokątną rozetą geodezyjną. Wykonano pomiary rozety i obliczono na ich podstawie odkształcenia poziome na kierunkach zastabilizowanych boków. W dalszym etapie wyznaczono składowe powierzchniowego tensora odkształceń, z których możliwe jest wyznaczenie kierunku i wartości występującego odkształcenia ekstremalnego wraz z określeniem dokładności w zależności od zastosowanej technologii wyznaczenia długości.

• pomiary deformacji powierzchni terenu i górotworu (kopce ziemne, osuwiska, obwałowania osadnika odpadów poflotacyjnych, górotwór naruszony prowadzoną podziemną eksploatacją górniczą)

W zakresie powyższej tematyki habilitantka opublikowała 14 prac (w tym 6 przed doktoratem):

- 1. Gawałkiewicz R., Szafarczyk A.: *Description of the spatial deformation process in selected Cracow mounds based on the surveying monitoring data*. Acta Geodynamica et Geomaterialia. ISSN 1214-9705. 2017 vol. 14 no. 1, s. 101-112.
- 2. Gawałkiewicz R., Szafarczyk A.: Surveying in the studies of the stability of earthy constructions, focus on selected historical mounds in Krakow (Poland). Boletim de Ciências Geodésicas. ISSN 1413-4853. 2016 vol. 22 iss. 2, s. 324-341.
- 3. Pielok J., Szafarczyk A.: *Geodetic measurements of surface deformations with the use of tensometry methods.* Das Markscheidewesen. ISSN 0174-1357. 2004 Jg. 111 nr. 3, s. 98-103.

- Pielok J., Szafarczyk A.: Optimalisation of the strain rosette layout to determine the mine area subsidence. W: 6. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie : 12. und 13. Mai 2005 Freiberg / Hrsg. A. Sroka, R. Wittenburg ; Technische Universität Bergakademie Freiberg. Institut für Markscheidewesen und Geodäsie. — Essen : Verlag Glückauf GmbH, 2005. s. 164-169.
- Pielok J., Szafarczyk A.: Applications of strain gauge measurement methods to determining the subsidence of mine areas on the basis of geodetic surveying.
 W: 7. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie : 11. und 12. Mai 2006 Freiberg / Hrsg. I. Niemeyer, A. Sroka, R. Wittenburg ; Technische Universität Bergakademie Freiberg. Institut für Markscheidewesen und Geodäsie. — Essen : Verlag Glückauf GmbH, 2006. s. 184-192.
- Bańkowski J., Włodarczyk B., Cisło B., Borowiec W., Ulmaniec M., Szafarczyk A: Zróżnicowanie tempa deformacji pionowych rejestrowanych w rejonie osadnika zlokalizowanego na terenie prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. ISSN 1643-7608. 2006 spec. ed., s. 9-19.
- 7. Szafarczyk A., Ulmaniec M., Borowiec W.: An attempt to apply tensor calculus to evaluate the deformation condition of vertical upper embankment zones for a landfill located in a mining area, based on satellite measurement results. Reports on Geodesy. ISSN 0867-3179. 2007 no. 1, s. 317-326.
- Borowiec W., Pielok J., Preweda E., Szafarczyk A., Ulmaniec M.: Ergänzungsprojekt des geodätischen Monitorings eines Absetzbeckens mittels Bestimmung von horizontalen Verformungen. W: 8. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie : 10. und 11. Mai 2007, Freiberg / Hrsg. I. Niemeyer, A. Sroka ; Technische Universität Bergakademie Freiberg. Institut für Markscheidewesen und Geodäsie. — Essen : VGE Verlag GmbH, cop. 2007. ISBN: 978-3-7739-1512-2. — s. 140-156.
- 9. Ćwiąkała P., Skulich M., Szafarczyk A.: *Repetitive measurements of the strain state in the rock mass persistently disturbed by the mining exploitation focus on the triangular rosette.* Geomatics and Environmental Engineering. ISSN 1898-1135. 2010 vol. 4 no. 4, s. 47-59.
- 10. Szafarczyk A.: *Geodezyjne metody monitoringu osuwisk*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. ISSN 1732-5587. 2011 nr 2, s. 293-300.
- 11. Szafarczyk A., Puniach E.: *Osuwiska wyznaczenie czasokresów prowadzenia obserwacji geodezyjnych przemieszczających się mas ziemnych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. ISSN 1732-5587. 2011 nr 4, s. 141-150.
- 12. Szafarczyk A., Wilk E.: *Rozproszenie losowe odkształceń poziomych wyznaczanych w sieciach pomiarowych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. ISSN 1732-5587. 2011 nr 4, s. 151-161.
- 13. Skulich M., Szafarczyk A.: *Optymalizacja metod pomiarowych w aspekcie projektowania pomiarów ekstremalnych odkształceń na terenach osuwiskowych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. ISSN 1732-5587. 2012 nr 2/II, s. 79-86.

 Szafarczyk A.: Wyznaczanie odkształceń poziomych terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych. Monografia naukowa. Wydawnictwa AGH, Kraków 2013. e-ISBN: 978-83-7464-573-7. S. 144.

Kopce ziemne

Zabytkowe kopce Krakowa (prehistoryczne: Kopiec Krakusa i Kopiec Wandy oraz stosunkowo nowe: Kopiec Kościuszki i Kopiec Piłsudskiego) należą do największych tego typu obiektów antropogenicznych w Polsce. Wykonane są z lessu, który jest materiałem ziemnym o problematycznej jakości i bardzo podatnym na czynniki atmosferyczne, takie jak opady atmosferyczne (deszcz i śnieg) i wiatr, ulegając poważnym uszkodzeniom. Ze względu na uszkodzenia, czasem muszą zostać zamknięte dla odwiedzających na jakiś czas. Dotyczy to głównie stosunkowo nowych kopców (Kościuszki i Piłsudskiego), które często określa się mianem "made with heart" (co może oznaczać entuzjazm, ale także brak trwałości materiału). Zastosowane do tej pory sposoby stabilizacji stoków, mimo ogromnych kosztów i wdrożeń nowoczesnych rozwiązań geotechnicznych, nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Szczególna podatność kopców na czynniki naturalne wymaga szczególnych metod analitycznych i środków zapobiegawczych. Zarówno metody wgłębne, jak i metody geodezyjne umożliwiają służbom geotechnicznym podjęcie konkretnych działań w celu powstrzymania odkształceń w strefach szczególnie zagrożonych osuwiskami. Monitorowanie punktów pomiarowych w oparciu o klasyczne metody pomiarowe, takie jak ciągi poligonowe i niwelację precyzyjną, czasem wspomagane technologią GNSS oraz siatką punktów kontrolnych umieszczonych na powierzchni stożków ziemnych, ułatwiają określenie skali zmian geometrii, w czasie i kierunków tych zmian. Obserwacje geodezyjne są prowadzone od kilku lat w ramach monitoringu geodezyjnego. Potwierdzają i precyzują specyficzne cechy tych zmian. Poza osiadaniem powierzchni i zjawiskiem skręcania ciała stałego określonym na podstawie wektorów przemieszczenia poziomego, podjęto próby określenia korelacji wartości tych zmian z sumą opadów atmosferycznych i średniego kierunku wiatru. Wartykule (Gawałkiewicz, Szafarczyk, 2017) autorzy przedstawili podobieństwa w charakterystyce tych zmian odnoszące się do najważniejszych czynników atmosferycznych, takich jak opady i wiatr.

Proces deformacji kopców jest podobny do charakterystyki zgodnej z teorią Terzagiego. Zastosowanie wysoko precyzyjnych technologii pomiarowych pozwala na monitorowanie zmian ich geometrii w czasie. W artykule (Gawałkiewicz, Szafarczyk, 2016) przedstawiono wyniki monitoringu punktowego wykonanego klasycznymi geodezyjnymi technologiami pomiarowymi w ramach 11 serii pomiarowych przeprowadzonych na wybranym kopcu (Kopiec Wandy). Zastosowanie technologii pomiarowych zintegrowanych ze specjalistycznym oprogramowaniem pozwoliło na kompleksową ocenę stopnia deformacji i trendów tych zmian w czasie, a także identyfikację stref anomalii w ramach monitorowanych stref podatnych na osuwanie.

<u>Osuwiska</u>

Przegląd dostępnych technologii geodezyjnych wykorzystywanych w monitoringu osuwisk, na tle obowiązujących przepisów prawnych dotyczących prowadzenia takiego monitoringu i organów za taki monitoring odpowiedzialnych przedstawiono w pracy (Szafarczyk, 2011).

Bazując na doświadczeniach prowadzenia obserwacji geodezyjnych na terenach górniczych podlegających deformacjom, podano zależności pozwalające na dobór okresów prowadzenia obserwacji geodezyjnych przemieszczających się mas ziemnych (Szafarczyk, Puniach, 2011).

Górotwór naruszony prowadzoną podziemną eksploatacją górniczą

W opracowaniu (Pielok, Szafarczyk, 2004) przedstawiono teoretyczne rozwiązanie problemu wyznaczenia deformacji powierzchni terenu górniczego naruszonego prowadzoną podziemną eksploatacją górniczą, co zrealizowano z wykorzystaniem powierzchniowego tensora deformacji. Dodatkowo przedstawiono wyniki badań i testów przeprowadzonych nad konkretnym polem eksploatacyjnym, dla zastosowanych różnych kształtów rozet pomiarowych wraz z określeniem dokładności i precyzji tak uzyskanych wskaźników deformacji.

Odkształcenia powierzchni wywołane działalnością górnictwa podziemnego są najczęściej monitorowane z wykorzystaniem pomiarów geodezyjnych prowadzonych na tak zwanych liniach pomiarowych. Punkty linii zastabilizowane są w określonej pozycji (azymucie) w odniesieniu do kierunku prowadzonego frontu eksploatacyjnego. W obszarach zabudowanych, gdzie nie ma możliwości zaprojektowania i zastabilizowania punktów prostoliniowej linii, zakładane mogą być sieci punktów w formie rozet pomiarowych o różnej konfiguracji. W artykule (Pielok, Szafarczyk, 2005) zestawiono wyniki uzyskanych odkształceń, wyznaczanych na podstawie różnych kształtów sieci pomiarowych i dokładności pomiarów długości boków przy założeniu identycznego oddziaływania górniczego w tym obszarze.

Wartości występujących wskaźników deformacji terenu i ich przebieg w czasie uzależnione są od lokalizacji badanego punktu lub boku względem eksploatowanego pola. W artykule (Pielok, Szafarczyk, 2006) przedstawiono wyniki wyznaczonych wartości ekstremalnych odkształceń poziomych terenu wraz z kierunkiem ich występowania i ich przebiegiem w czasie. Wyniki zaprezentowano dla rejonów: nad centralną częścią pojedynczego pola eksploatacyjnego, nad krawędzią pojedynczego pola eksploatacyjnego oraz dla przypadku prowadzenia eksploatacji w dwóch równolegle usytuowanych ścianach, w których eksploatacja prowadzona była najpierw dla jednej, a później dla drugiej ściany.

W artykule (Ćwiąkała, Skulich, Szafarczyk, 2010) przedstawiono wyniki pomiarów odkształceń liniowych na trzech bokach trójkątnej rozety pomiarowej zastabilizowanej nad krawędzią eksploatowanego pola kopalni "Centrum" w Bytomiu. Wartości wyznaczonych odkształceń przedstawiono w funkcji czasu dla momentów wykonanych pomiarów z zaznaczeniem aktualnego stanu frontu eksploatacyjnego. Wykazano występowanie odkształceń różnoimiennych, o utrzymującym się kierunku występowania wartości ekstremalnych.

Opis doświadczeń terenowych z pomiarów odkształceń na terenach górniczych w rejonach prowadzonej eksploatacji ścianowej przedstawiono w pracy (Szafarczyk, 2013), a rozproszenie losowe dla wyznaczanych odkształceń wyznaczono w pracy (Szafarczyk, Wilk, 2011).

Obwałowania zbiornika odpadów poflotacyjnych

Bezpieczne użytkowanie zbiorników odpadów poflotacyjnych (osadników) wymaga prowadzenia okresowych pomiarów geodezyjnych w celu kontroli stateczności ich obwałowań. Jest to szczególnie ważne w przypadkach, gdy pod osadnikiem lub w jego otoczeniu prowadzona jest podziemna eksploatacja górnicza. Na podstawie wyników pomiarów wyznaczane są wskaźniki deformacji terenu, a ich wartości wraz z wynikami innych obserwacji są wykorzystywane do oceny stanu bezpieczeństwa dalszego użytkowania obiektu. Deformacje pionowe powierzchni terenu i obwałowań zbiornika odpadów poflotacyjnych rejestrowane metodami geodezyjnymi są łącznym skutkiem oddziaływania wielu czynników. W zależności od rodzaju tych czynników deformacje charakteryzują się różnym tempem w różnych okresach. W rejonie analizowanego osadnika (Bańkowski, Włodarczyk, Cisło, Borowiec, Ulmaniec, Szafarczyk, 2006) na podstawie dotychczasowych obserwacji geodezyjnych i informacji o lokalizacji prowadzonych robót górniczych można wydzielić strefy "aktywne" (gdzie występują duże zmiany spowodowane głównie bezpośrednim wpływem robót górniczych) oraz strefy względnie "spokojne". W artykule przeanalizowano deformacje pionowe punktów linii profilowych położonych w różnych strefach osadnika w okresie ponad dziesięciu lat prowadzenia obserwacji w cyklach kwartalnych. Dla punktów linii profilowych w strefach "spokojnych" podjęto próbę określenia wielkości wpływu komprymacji materiału tworzącego obwałowania na wielkości deformacji pionowych rejestrowanych w czasie.

2007) W artykule (Szafarczyk, Ulmaniec, Borowiec, przedstawiono wyniki eksperymentalnych obliczeń, w których wykorzystano pomiary fragmentu sieci obserwacyjnej osadnika, obejmującego górne strefy jego obwałowań. Jedynie dla tych stref można przyjąć założenie o jednorodności materiału tworzącego ten fragment obwałowań i ich bezpośredniego podłoża. W omawianym rejonie wytypowano 35 konstrukcji geometrycznych zwanych "rozetami trójkątnymi" o wierzchołkach w punktach, o znanych współrzędnych, wyznaczonych technologia satelitarna. Do obliczeń wykorzystano trzy cykle obserwacji GPS całej sieci kontrolnej osadnika, wykonane w latach 2004, 2005 i 2006. Na bazie zbiorów współrzędnych punktów wyznaczone zostały okresowe przemieszczenia poziome oraz składowe dwuwymiarowego tensora odkształceń, pozwalające na określenie wartości poziomych odkształceń ekstremalnych i kierunków ich występowania. Wyniki oszacowania stanu odkształceń poziomych przedstawiono na tle eksploatacji górniczej wykonanej w tych okresach w rejonie osadnika, a także na tle obniżeń analizowanych punktów w odpowiednich okresach rocznych uzyskanych z klasycznych obserwacji realizowanych technologią niwelacji precyzyjnej. Dodatkowo przedstawiono je łącznie z obrazami przemieszczeń poziomych analizowanych punktów w przyjętych trzech interwałach czasowych.

W celu wyznaczenia wartości odkształceń występujących w rejonie osadnika wykorzystano rachunek tensorowy (Borowiec, Pielok, Preweda, Szafarczyk, Ulmaniec, 2007). Wartości odkształceń wyznaczone zostały w ciągu dwóch lat i były oparte na wynikach trzech sesji pomiarowych. Oprócz reperów obserwowanych z wykorzystaniem technologii niwelacji precyzyjnej, mierzona była sieć 57 punktów raz w roku przy użyciu technologii satelitarnej GPS. Na podstawie pomiarów geodezyjnych obliczono kilka wskaźników: izokatabazy,

wektory przemieszczeń poziomych, wartości odkształceń ekstremalnych i kierunki ich występowania charakteryzujące stan ścian i przyległego terenu rozpatrywanego zbiornika. Wskaźniki zostały wykorzystane do oceny zagrożenia zbiornika, a uzyskane wartości odkształceń wskazują, że obiekt ogólnie podlega pełzaniu.

Bibliografia

Kowalczyk Z. (1965). *Miernictwo górnicze Orientacja kopalń*. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice. Milewski M. (1988). *Geodezja górnicza*. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Pielok J. et al. (2011). Geodezja górnicza. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Anne hafarayle